Étude environnementale n° 19

Études de puisards IV: perturbation du pergélisol adjacent aux puits d'exploration au nord du territoire du Yukon

Programme des affaires du Nord

Hugh M. French
Département de géographie et de géologie
Université d'Ottawa
Ottawa, K1N 6N5

Février 1981

© Publié avec l'autorisation de
l'hon. John C. Munro, c.p., député
ministre des Affaires indiennes
et du Nord canadien,
Ottawa, 1982.
QS-8299-000-FF-A1
N° de catalogue : R71-19/19-1982F
ISBN 0-662-91531-3

Ce rapport a été rédigé sous contrat pour le programme de recherche sur l'utilisation des terres dans l'Arctique, Direction de la protection de l'environnement du Nord, ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien. Les opinions, conclusions et recommandations de ce rapport sont celles de l'auteur et ne sont pas nécessairement celles du Ministère.

This publication is also available in English.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
LISTE DES TABLEAUX	3
LISTE DES FIGURES	4
REMERCIEMENTS	8
RÉSUMÉ	9
1. L'ÉTUDE DE PUISARD DU PROJET DE RECHERCHE SUR L'UTILISATION DES TERRES DANS L'ARCTIQUE (ALUR)	10
2. OBJECTIFS ACTUELS	11
3. CONDITIONS DU PERGÉLISOL ET DU TERRAIN	13
3.1. Terrain	13
3.2. Climat	17
3.3. Conditions du pergélisol	17
3.4. Géologie de surface	21
4. PERTURBATIONS DU TERRAIN	26
4.1. Aquitaine Alder C-33 (65°52'N; 136°54'O): NTS 116H	26
4.1.1. Conditions du site	26
4.1.2. Perturbations du terrain	30
4.2 Chevron SOBC WM N. Parkin D-61 (66°20'N; 137°13'O): NTS 116I	37
4.3 SOBC Blackstone D-77 (65°40'N; 137°15'O): NTS 116H	38
4.4 Mobil Gulf Peel H-71 (66°20'N; 134°43'O): NTS 106L	40
4.5 Gulf Mobil Caribou N-25 (66°14'N; 134°50'O): NTS 106L	43
5. DISCUSSION ET CONCLUSIONS	49

6. RECOMMANDATIONS 54

7. BIBLIOGRAPHIE 55

LISTE DES TABLEAUX

Page

1. Conditions de la couche active au puits Aquitaine Alder C-33, plaine d'Eagle, 9 juin 1977 (d'après French, 1977). 31

2. Quantité de glace dans le sol et limites de consistance de la glace dans le sol pour les matières superficielles au puits Aquitaine Alder C-33, plaine d'Eagle (d'après French, 1977). ... 32

3. Températures (°C) de la couche active mesurées au puits Aquitaine Alder C-33, le 27 juillet 1979. (A) Roche en place non perturbée, escarpement de la plaine d'Eagle. (B) Roche en place décapée, escarpement de la plaine d'Eagle. (C) Support de forage composé d'agrégats de roche en place broyée. (D) Terrain non perturbé aux abords du puits. Remarquer les similitudes de régimes thermiques entre (A) et (D) et entre (B) et (C). 35

4. Données sommaires sur les puits décrits dans le présent rapport. 51

LISTE DES FIGURES

Page

1. Carte de la région de la plaine d'Eagle et du plateau de Peel, nord du Territoire du Yukon. Régions physiographiques d'après Bostock (1971). 12

2. Aperçu général de la surface de moyenne montagne de la plaine d'Eagle. La végétation consiste en un boisé d'épinettes noires et une toundra d'arbustes. Lat. 66°16'N, Long. 137°10'O. 15

3. Vue occidentale du principal escarpement de la plaine d'Eagle au nord du puits Aquitaine Alder C-33. Remarquer la toundra de buissons de la surface de moyenne montagne et le mélange de bouleaux, peupliers, d'aulnes et d'épinettes blanches du côté sud, plus chaud et mieux drainé. Lat. 65°55'N, Long. 136°50'O. 15

4. Aperçu général du plateau de Peel, mettant en évidence le boisé d'épinettes ouvert et la toundra de thufurs végétaux. Cette dernière est probablement due au feu. Lat. 66°22'N, Long. 134°52'O. 16

5. Secteur de plateaux de tourbe et de marais mouillés naissants, plateau de Peel. Les traces de frottement en surface sont attribuables à une piste d'aviation utilisée en hiver à cet endroit. Photo prise en juillet 1979. Lat. 66°20'N, Long. 134°45'O. 16

6. Carte illustrant les limites glaciaires et les zones de pergélisol dans la région septentrionale intérieure du Territoire du Yukon. D'après Brown (1978), Hughes (1969) et Hughes et al. (1969). 19

7. Régime thermique du sol typique des sédiments à granulométrie fine de la plaine inondable de la rivière Eagle adjacente au croisement de l'autoroute Dempster, plaine d'Eagle. Données fournies par G.H. Johnston, Conseil national de recherches du Canada. La zone pointillée indique l'étendue de la barrière zéro. 20

8. Cercles sans triage et réseaux de pierres formés dans les débris de la roche en place angulaire près du chalet Eagle Plain, plaine d'Eagle. Lat. 66°22'N, Long. 136°38'O. 23

9. Des fissures de retrait thermique et des polygones de tourbe apparaissent dans les dépôts de la plaine inondable de la rivière Peel. Remarquer également la zone de tourbière nervurée. Lat. 65°51'N, Long. 136°50'O. 23

10. Vue aérienne oblique du petit cours d'eau tributaire du ruisseau Chance qui draine une partie du sud de la plaine d'Eagle. Remarquer les cours d'eau en chapelet. Lat. 66°15'N, Long. 137°25'O. 25

11. Joints dilatés par le gel dans la roche en place de schiste argileux, exposés dans un emprunt au kilomètre 366 de l'autoroute Dempster, plaine d'Eagle. 25

12. Emplacement des puits dont il est question dans ce rapport. 28

13. Vue aérienne oblique du puits Aquitaine Alder C-33 avant le forage de juin 1977. L'étendue de la zone brûlée est clairement visible. Lat. 65°52'N, Long. 136°54'O. 29

14. Vue aérienne oblique du puits Aquitaine Alder C-33 suite à l'abandon et à la restauration du site en juillet 1979. L'assise consistait en roche en place broyée (grès) prélevée dans la région. 29

15. Carottes de forage des matières colluviales limoneuses provenant des 2 - 4 premiers mètres de régolithe du puits Aquitaine Alder C-33, plaine d'Eagle, juin 1977. Remarquer les lentilles de glace. 33

16. Vue aérienne oblique de la zone d'emprunt du puits Aquitaine Alder C-33, plaine d'Eagle, suite à la restauration du site. Les secteurs dont le sol et la végétation ont été décapés présentent des zones de fonte le long des structures de joints dans la roche en place sous-jacente. Les carrières d'emprunt remblayées se trouvent à gauche sur la photo et sont sur un plan allongé. Photo prise en juillet 1979. 33

17. Régimes thermiques prévus pour les surfaces horizontales de calcaire (A) et de grès (B) de la plaine d'Eagle. D'apres Pollard, 1980, 27. 36

18. Vue aérienne oblique du puits Chevron SOBC WM N. Parkin D-61, situé sur la surface de moyenne montagne de la plaine d'Eagle. Photo prise en juillet 1979. 39

19. Les restants du support sur pilotis de la plate-forme de forage sont encore visibles au site du puits SOBC Blackstone D-77, foré en 1962-1963. Photo prise en juillet 1979. 39

20. Des buttes de thermokarst et des étangs d'eau stagnante se sont formés dans les terrains perturbés voisins du puits SOBC Blackstone D-77. Photo prise en juillet 1979. 41

21. Vue aérienne oblique d'un vieux profil sismique traversant le terrain riche en glace et mal drainé, dans la vallée de la rivière Blackstone. Cette photo a été prise en été. Remarquer le thermokarst qui s'y est formé. La végétation consiste en toundra de buissons et en buttes de gazon dues au feu. Lat. 65°45'N, Long. 137°15'O. 41

22. Vue aérienne du puits Mobil Gulf Peel H-71 sur laquelle apparaît le puisard auxiliaire et la zone adjacente d'arbres morts. Photo prise en juillet 1979. 44

23. Vue aérienne oblique des polygones de tourbe et de marais mouillés, plateau de Peel. Cet emplacement a servi de piste d'aviation d'hiver pour le puits Mobil Gulf Peel H-71 au cours de l'hiver 1976-1977. Lat. 66°21'N, Long. 134°45'O. Photo prise en juillet 1979. .. 44

24. Vue aérienne oblique du puits Gulf Mobil Caribou N-25, plateau de Peel, illustrant l'amplitude du glissement du côté occidental du puisard. Photo prise en juillet 1979. 46

25. Vue du puits Gulf Mobil Caribou N-25, en septembre 1974, faisant apparaître les fuites de fluides à travers la paroi du puisard. Remarquer à quel point le puisard était situé à proximité du bord de la pente de la vallée. Photo: courtoisie de W. Robson, Pêches et Environnement Canada, Whitehorse. 46

26. Puits Gulf Mobil Caribou N-25, en septembre 1975, après la restauration du site. Un glissement et une perte de masse se sont produits à l'emplacement de la fuite initiale des fluides du puisard. Photo, courtoisie de W. Robson, Pêches et Environnement Canada, Whitehorse. 47

27. Vue du puits Gulf Mobil Caribou N-25, en juillet 1979, illustrant la stabilisation et la régénération végétale de la pente. On observe encore un suintement dans la zone perturbée. A comparer à la figure 26. 47

REMERCIEMENTS

L'étude de puisard ALUR est subventionnée par la Arctic Petroleum Operator's Association (APOA) de Calgary (projet 132). Les travaux effectués en juillet 1979, dans le territoire du Yukon ont été rendus possibles grâce à la collaboration de l'Aquitaine du Canada Limitée, qui nous a gracieusement fourni un hélicoptère pour nous rendre aux emplacements des puits de la plaine d'Eagle et du plateau de Peel. Nous avons à ce titre, grandement apprécié les conseils logistiques que nous ont fournis messieurs T. Beck et W. Sawoton.

Cette étude a été entreprise en étroite collaboration avec le Dr. D.W. Smith du département de botanique et de génétique de l'Université de Guelph, également sous contrat en vertu du programme ALUR. L'aide de W. Pollard, étudiant au doctorat à l'Université d'Ottawa, nous a également été précieuse; M. Pollard agissait à titre d'auxiliaire sur le terrain et a participé à la préparation du présent rapport. Grâce aux conversations que nous avons eues avec de nombreux fonctionnaires du ministère des Affaires indiennes et du Nord (MAIN) à Whitehorse, notamment avec H. Beaubier, H. Enfield et K. Kepke, nous avons pu recenser les puits où le terrain et l'évacuation des fluides de forage ont posé des problèmes. W. Robson, de Pêches et Environnement Canada à Whitehorse, nous a gracieusement fourni d'anciennes photographies du puits Gulf Mobile Caribou N-25. La collaboration de B.A. Leary et A. Williamson (MAIN), à Dawson City, nous a été particulièrement précieuse en matière de logistique locale. A. Williamson a également assuré nos déplacements sur l'autoroute Dempster et nous a fourni la majeure partie des informations de base sur l'utilisation des terres et les conditions d'exploitation dans le nord du Yukon.

Le Dr. G.A. Yarranton, antérieurement du MAIN, nous a donné, à titre d'autorité scientifique, d'excellents conseils et a aidé à la coordination de toutes les étapes des travaux. Le Dr. D.M. Barnett, MAIN, et plusieurs critiques anonymes nous ont fait de nombreuses suggestions utiles au moment de compléter le travail, suggestions dont nous avons tenu compte au moment de la rédaction.

RÉSUMÉ

Une étude géomorphologique a été entreprise en juillet 1979 à l'emplacement de cinq puits de pétrole et de gaz abandonnés dans la région de la plaine d'Eagle et du plateau de Peel au nord du territoire du Yukon (NTS 106L, 116I, 116H). Les puits suivants ont été visités: Aquitaine Alder C-33, Chevron SOBC WN N. Parkin D-61, SOBC Blackstone D-77, Mobil Gulf Peel H-71, et Gulf Mobil Caribou N-25. Ces puits ont été choisis comme représentatifs des conditions générales régnant dans la région ou parce qu'ils avaient notamment connu des problèmes de terrain et d'élimination des fluides de forage. La principale conclusion à laquelle sont arrivés les chercheurs est que les perturbations du terrain à l'emplacement des puits dans le nord du Yukon ne sont pas aussi évidentes que dans certaines parties du delta du Mackenzie et des îles Arctiques. Cela est sans doute attribuable à la vulnérabilité généralement plus faible du terrain dans la majeure partie de l'intérieur du territoire du Yukon, ainsi qu'à la rapidité relative de la regénération végétale dans ces zones de transition entre la forêt boréale et la toundra de buissons.

1. L'ÉTUDE DE PUISARD DU PROGRAMME ALUR

L'un des objectifs de l'étude de puisard du programme ALUR est de fournir des renseignements écologiques et géotechniques relatifs à la construction, à l'utilisation et à la restauration subséquente des puisards en fonction des différentes conditions de terrain et de pergélisol. Le projet a également pour but d'évaluer les différentes méthodes d'élimination des fluides de forage, et notamment leur épandage directement sur le sol. A plus long terme, il s'agit d'évaluer l'efficacité du Règlement sur l'utilisation des terres territoriales en matière de forage de puits de pétrole et de gaz dans le pergélisol et l'élimination des fluides de forage.

Les perturbations de terrain dans les zones adjacentes aux puits abandonnés dans les îles Arctiques et le Delta du Mackenzie (French, 1978a) et les modifications géothermiques associées à la construction de puisards et à l'utilisation de deux puits, l'un sur l'île Cameron, dans l'extrême Arctique, et l'autre dans les chaînons Caribou, dans le Delta du Mackenzie, (French and Smith, 1980) ont déjà fait l'objet de rapports antérieurs publiés dans le cadre de la présente série. Deux autres rapports décrivent les changements biologiques survenus à l'emplacement de divers puits dans l'extrême Arctique (Smith et James, 1980a) et le Delta du Mackenzie (Smith et James, 1980b).

Le présent rapport réunit certaines données de base sur les terrains de pergélisol au Yukon ainsi que certaines observations et expériences effectuées sur l'emplacement des puits, qui autrement n'auraient pas été relevées ou seraient demeurées éparpillées dans toutes sortes de notes, rapports et dossiers. Pendant la période que couvre notre petit échantillonnage, les exploitants en étaient encore à se familiariser avec le travail dans le pergélisol, les chercheurs s'efforçaient de déterminer avec précision la vulnérabilité du terrain et les législateurs cherchaient à établir des mesures de contrôle qui permettraient de minimiser les perturbations éventuelles.

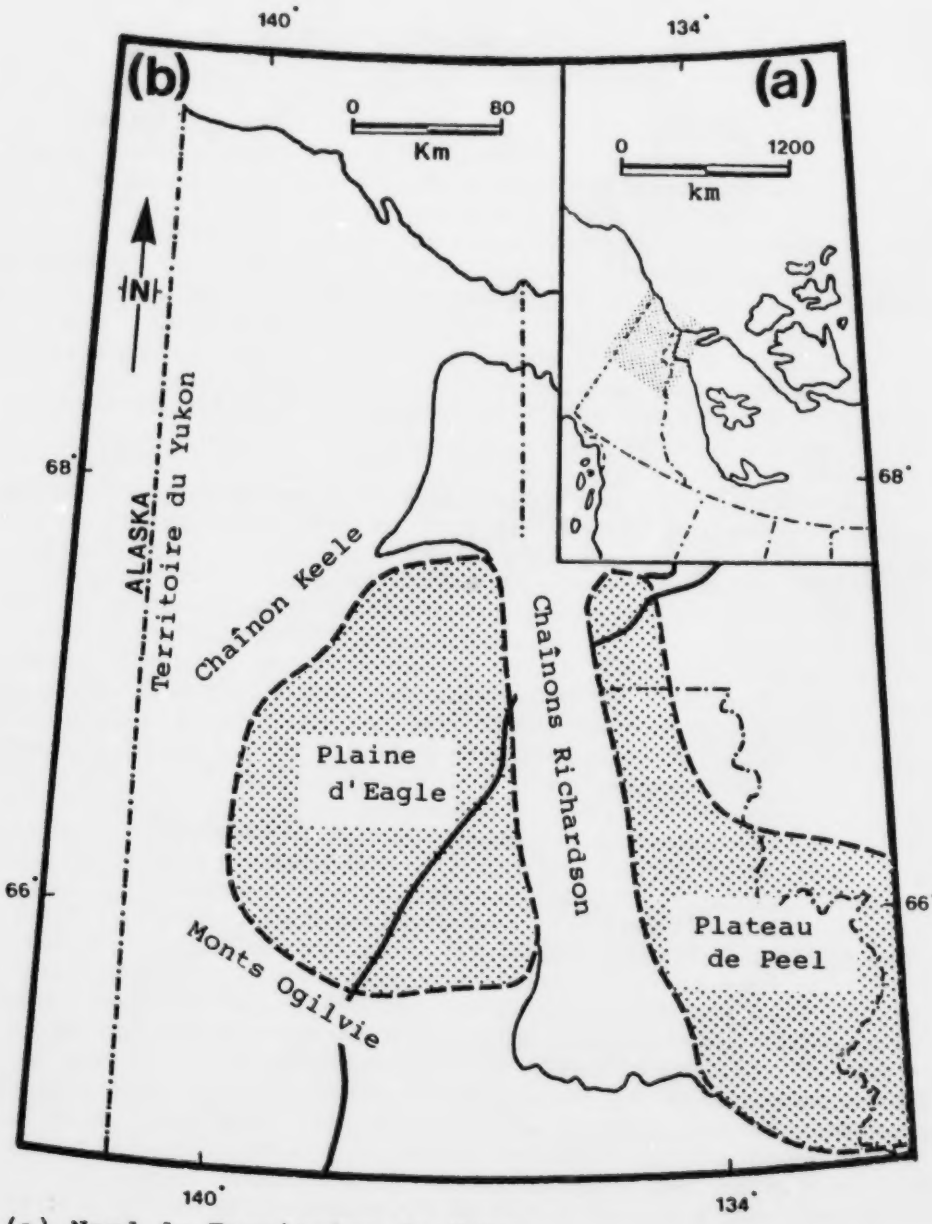
Parmi les autres rapports portant sur les problèmes écologiques associés à la prospection de pétrole et de gaz dans l'Arctique canadien, mentionnons ceux de Bliss et Peterson (1973) et de French (1978b; 1978c; 1980). Il existe également des études semblables sur le nord de l'Alaska (Lawson et al., 1978; Lawson and Brown, 1979; Johnson, 1981).

2. OBJECTIFS ACTUELS

Le présent rapport décrit les perturbations physiques observées dans le voisinage de cinq puits abandonnés dans des zones septentrionales de l'intérieur du Territoire du Yukon. Il complète des travaux antérieurs portant sur les perturbations de terrain à proximité de divers puits dans les Territoires du Nord-Ouest. Le terrain, la végétation et le pergélisol du Yukon septentrional sont différents de ceux du Delta du Mackenzie et des îles Arctiques et nécessitent donc une étude particulière; les présentes observations élargissent en outre la base de données permettant d'évaluer l'efficacité du Règlement sur l'utilisation des terres territoriales en matière de puisards et d'élimination des fluides de forage.

Plus de 50 puits ont été forés dans le territoire du Yukon. La grande majorité d'entre eux sont situés dans la région de la plaine d'Eagle ou de la rivière Peel, dans la zone intérieure septentrionale du Territoire (Figure 1). Beaucoup de ces puits ont été forés avant l'adoption du Règlement sur l'utilisation des terres territoriales en 1971.

Suite à des discussions avec des fonctionnaires du MAIN à Whitehorse, un certain nombre de puits ont été choisis en vue d'une étude détaillée sur le terrain. Dans la plaine d'Eagle, ces puits étaient les suivants: Aquitaine Alder C-33, Chevron SOBC WM N. Parkin D-61 et SOBC Blackstone D-77. Dans le plateau de Peel, deux puits seulement ont été examinés: le puits Mobil Gulf Peel H-71 et le puits Gulf Mobil Caribou N-25. Ces puits datent d'époques variées et sont situés dans des régions dont le terrain et le pergélisol diffèrent. Deux d'entre eux (Mobil Gulf Peel H-71 et Gulf Mobil Caribou N-25) ont été choisis à cause des problèmes de terrain et de puisard qui s'y sont notamment posés. Un autre (SOBC Blackstone D-77) a été choisi parce qu'il avait été foré avant l'adoption du Règlement sur l'utilisation des terres territoriales. Les deux autres (Chevron SOBC WM N. Parkin D-61 et Aquitaine Alder C-33) constituent des études de cas de puits forés dans la plaine d'Eagle à des époques différentes suite à l'adoption du Règlement. A chacun des emplacements, nous avons tenté de relier la nature et l'ampleur des perturbations à la vulnérabilité du terrain et à l'histoire des opérations de forage.



(a) Nord du Territoire du Yukon

(b) Plaine d'Eagle et plateau de Peel

Figure 1. Carte de la région de la plaine d'Eagle et du plateau de Peel, au nord du Territoire du Yukon. Régions physiographiques d'après Bostock (1971).

3. CONDITIONS DU PERGÉLISOL ET DU TERRAIN

3.1. Terrain

Il existe très peu d'études sur les conditions du terrain, du pergélisol et de la végétation à l'intérieur du Yukon septentrional. Même depuis l'ouverture de l'autoroute Dempster en 1979, d'immenses régions demeurent encore inaccessibles. Deux rapports qui tentent de faire une synthèse des données sur le pergélisol et les conditions de terrain doivent cependant être signalés: celui de Zoltai et Pettapiece (1973) et celui de Oswald et Senyk (1977). On peut également se procurer aujourd'hui les cartes et les rapports établis au cours de l'étude écologique des terres effectuée par Wilken et al. en 1979 (Wilken et al., 1981a; 1981b). Ces documents donnent un aperçu général des types de paysages que l'on rencontre dans le nord du Yukon.

La plaine d'Eagle constitue un important plateau d'entremont situé entre les soixante-cinquième et soixante-septième degrés nord et couvre une superficie d'environ 17 500 km^2 (Figure 1). Elle est bordée respectivement à l'ouest et au sud par les monts Ogilvie nord et central, à l'est par le secteur sud des chaînons Richardson, et, au nord, par le chaînon Keele. Le plateau lui-même est une surface de moyenne montagne de 650 à 800 mètres d'altitude, articulée par de larges vallées peu profondes (Figure 2) dont les eaux s'écoulent dans le Bassin Old Crow, au nord, par les rivières Eagle et Porcupine. Le flanc méridional du plateau est délimité par un escarpement proéminent (Figure 3) formé par un membre résistant de la formation de la plaine d'Eagle, un grès datant du Crétacé qui sous-tend la majorité du plateau (Norris et al., 1963). Des schistes argileux, des calcaires et des conglomérats datant du Carbonifère inférieur et du Dévonien entourent la plaine d'Eagle. La végétation consiste en une forêt boréale rabougrie et ouverte que remplace une toundra de buisson à des altitudes plus élevées. La ligne d'arborescence alpine décroît en altitude en allant vers le nord, pour passer d'environ 850 mètres, au sud, à 600 mètres au nord.

Le plateau du Peel constitue une surface de moyenne montagne couvrant une superficie d'environ 20 000 km^2, au pied du flanc est du sud des chaînons Richardson (Figure 1). Son altitude décroît en allant vers l'est et passe d'environ 600 mètres à 300 mètres. Sa végétation est typique d'un secteur transitoire entre la forêt boréale et la toundra forestière (Figure 4). Les matières organiques y sont abondantes, notamment dans les régions mal drainées où l'on trouve des plateaux de tourbe, des palsas et des polygones de tourbe (Figure 5). Le plateau repose sur du schiste argileux et du calcaire datant du Crétacé inférieur et est articulé par des vallées bien définies et relativement profondes, comme celles qui sont drainées par les rivières Caribou et Trail. Ces rivières font partie du bassin hydrographique du Mackenzie.

Figure 2. Aperçu général de la surface de moyenne montagne de la plaine d'Eagle. La végétation y consiste en un boisé ouvert d'épinettes noires et en toundra de buissons. Lat. 66°16'N, Long. 137°10'O.

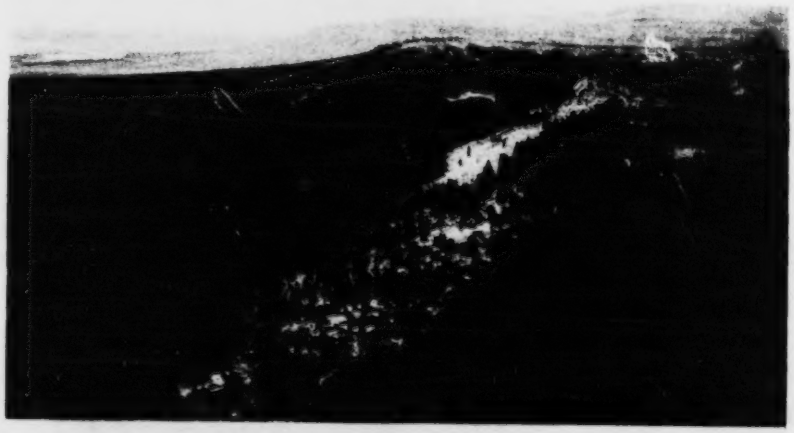


Figure 3. Vue occidentale du principal escarpement de la plaine d'Eagle au nord du puits Aquitaine Alder C-33. Remarquer la toundra de buissons de la surface de moyenne montagne et l'assemblage de bouleaux, de peupliers, d'aulnes et d'épinettes blanches du côté sud, plus chaud et mieux drainé. Lat. 65°55'N, Long. 136°50'O.

Figure 4. Aperçu général du plateau de Peel mettant en évidence le boisé d'épinettes ouvert et la toundra de thufurs végétaux. Cette dernière est probablement due au feu. Lat. 66°22'N, Long. 134°52'O.

Figure 5. Secteur de plateaux de tourbe et de marais mouillés naissants, plateau de Peel. Les traces superficielles de frottement sont attribuables à une piste d'aviation utilisée en hiver à cet endroit. Photo prise en juillet 1979. Lat. 66°20'N, Long. 134°45'O.

3.2. Climat

Le climat actuel de l'intérieur du Yukon est un climat froid et continental, la température annuelle moyenne de l'air à Dawson City (64°04'N; 139°26'O) étant de -5°C. Plus au nord, à des altitudes plus élevées dans les monts Ogilvie et à des latitudes supérieures dans la plaine d'Eagle, la température annuelle moyenne de l'air est probablement inférieure, soit entre -7°C et -10°C (Burns, 1973). Les précipitations annuelles à Dawson City sont faibles, totalisant environ 25 cm, ce qui vaut probablement aussi pour la plaine d'Eagle et le plateau de Peel. Malheureusement nous ne possédons encore aucun relevé climatologique continu pour ces régions.

3.3 Conditions du pergélisol

Bien que d'après la carte établie par Brown en 1978 la région apparaisse comme transitoire, allant du pergélisol continu au pergélisol discontinu (Figure 6), nous ne connaissons que très peu de choses sur les conditions du pergélisol dans le nord du Yukon. Nous savons qu'à Dawson City, le pergélisol discontinu s'étend jusqu'à des profondeurs de 60 m (Brown, 1978; EBA Engineering, 1977), tandis qu'à l'intersection de la rivière Eagle et de l'autoroute Dempster, des données recueillies par sondage laissent croire que le pergélisol pourrait s'étendre jusqu'à 90 m de profondeur dans la plaine inondable (Johnston, 1980). A la rivière Eagle, les données thermiques du sol révèlent la présence, entre mai et septembre, d'une couche active qui atteint une épaisseur maximale d'à peu près un mètre (Figure 7). Nous ne possédons de relevés de températures que pour un seul puits du nord du Yukon, soit le puits Socony Mobil WM N. Cath B-62 (Taylor et Judge, 1974). D'après les mesures, il semble que le pergélisol atteigne une épaisseur d'environ 100 m, la température annuelle moyenne du sol se situant entre 0°C et -2°C.

Les diverses descriptions des conditions de pergélisol dans la région sont vagues et reflètent ce manque d'informations. Mentionnons, par exemple, les hypothèses suivantes qui ont été formulées par différents chercheurs:

(i) "Toute la région (monts Ogilvie et plaine d'Eagle) repose sur du pergélisol dont l'épaisseur varie de quelques centaines de pieds à peut-être plus de 1 000 pieds" (Campbell, 1960, 579).

(ii) "...on trouve du pergélisol dans toute la région jusqu'à des profondeurs qui, par endroit, dépassent 400 pi, sauf sous les pentes bien drainées faisant face au sud et sous des bandes de terrain le long des principaux cours d'eau, où le développement du pergélisol est paralysé par la percolation des eaux souterraines" (Vernon et Hughes, 1966, 4).

(iii) "Dans cette région, le pergélisol est essentiellement continu, sauf dans les secteurs situés immédiatement à proximité des principaux cours d'eau et rivières..." (Pufahl et al., 1974, 15).

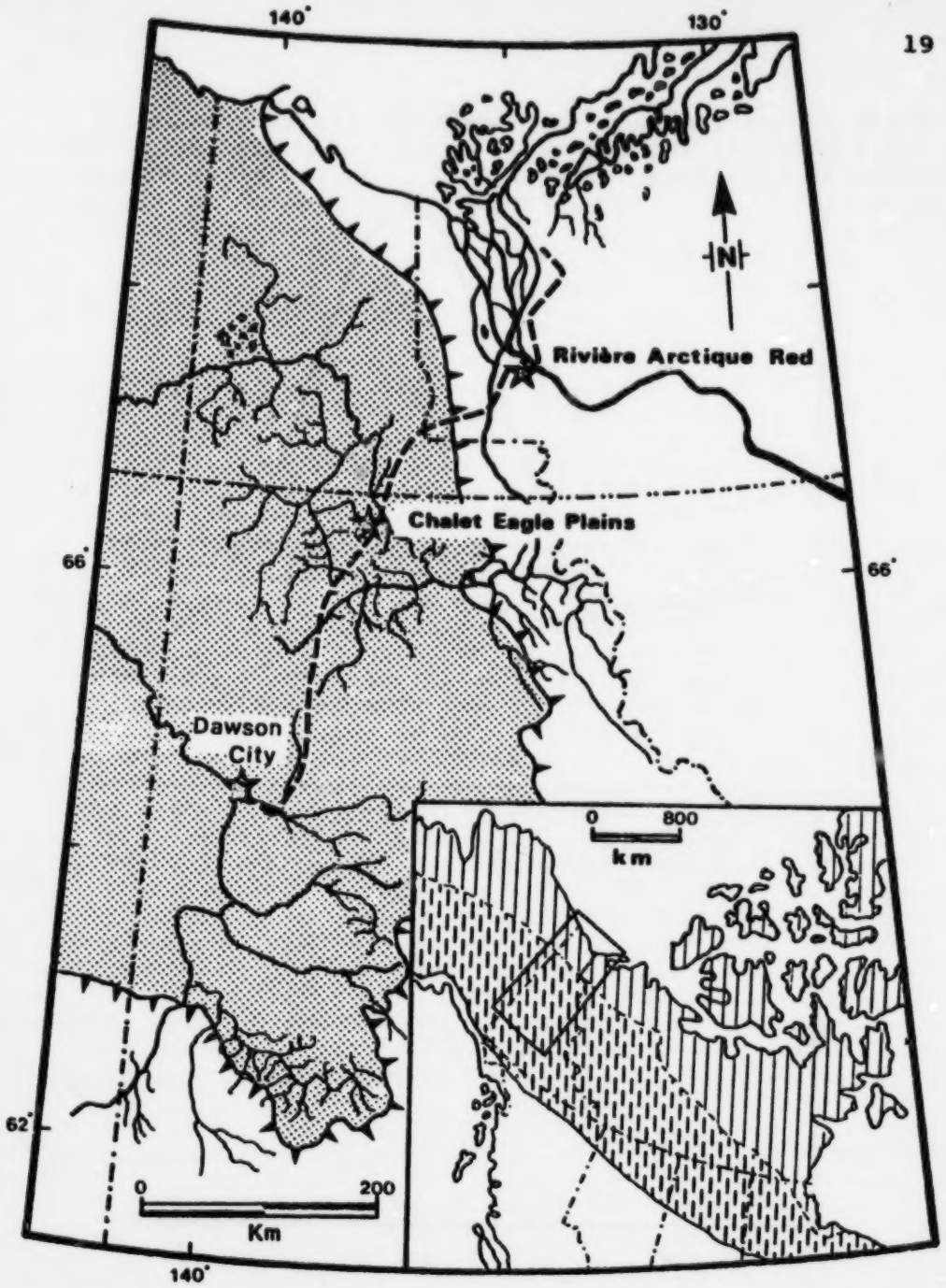


Figure 6. Carte illustrant les limites glaciaires et les zones de pergélisol dans la région septentrionale intérieure du territoire du Yukon. D'après Brown (1978), Hughes (1969) et Hughes et al. (1969).

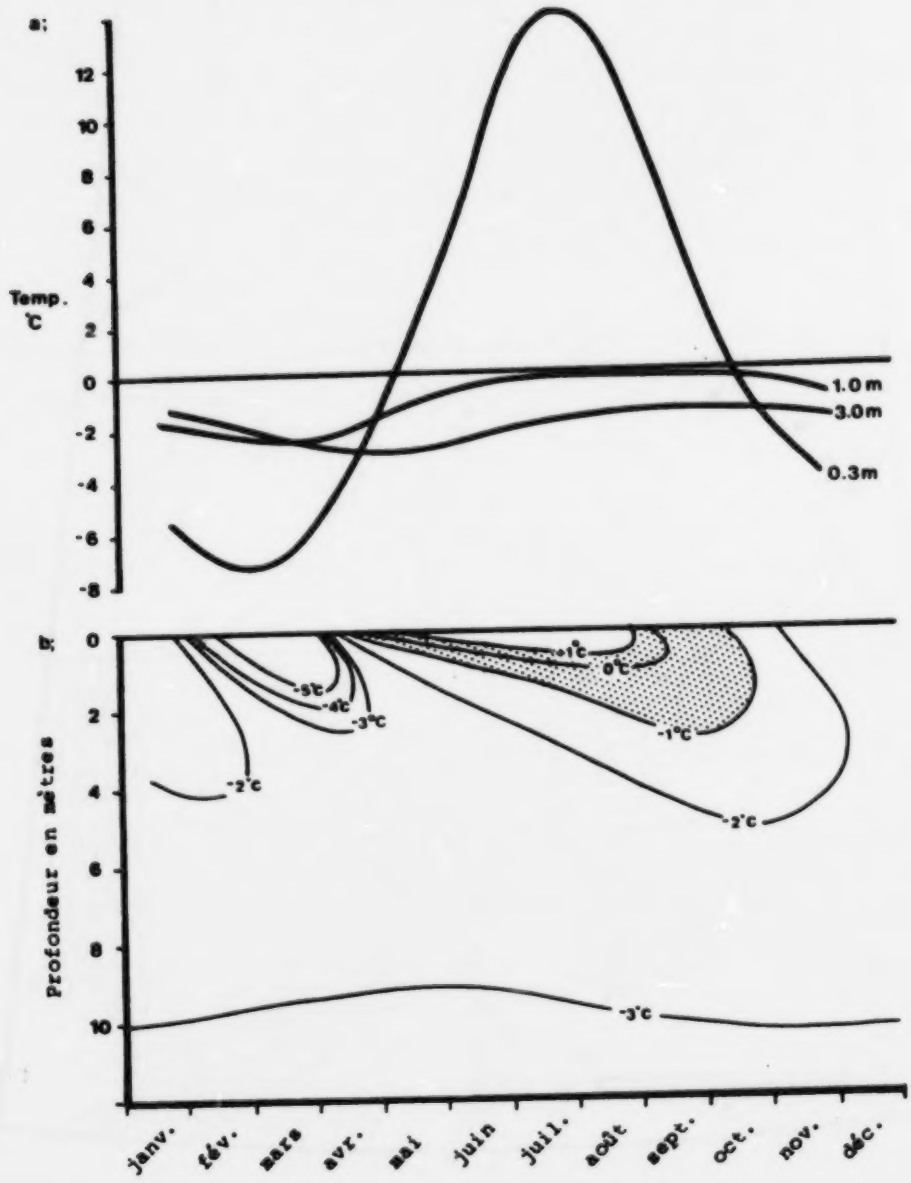


Figure 7. Régime thermique typique des sédiments à granulométrie fine de la plaine inondable de la rivière Eagle adjacente au croisement de l'autoroute Dempster, dans la plaine d'Eagle. Données fournies par G.H. Johnston, Conseil National de Recherches du Canada. La zone pointillée indique l'étendue de la barrière zéro.

La présence possible de pergélisol résiduel est un facteur de complication. Dans le centre du Yukon, par exemple, à l'emplacement de la United Keno Mines, la pergélisol atteint notamment une profondeur d'au moins 450 pi (137 m) (voir Brown, 1970, Tableau 1).

3.4. Géologie de surface

Le nord du Yukon est particulier en ceci que sa majeure partie a échappé à la glaciation par la nappe glaciaire Laurentide. En outre, il se pourrait que les portions septentrionale et occidentale centrale du territoire soient demeurées non glacées pendant le Pléistocène. Le reste présente une configuration complexe de glaciation Cordillère (Bostock, 1966; Hughes et al., 1969; Vernon et Hughes, 1966).

Il y a habituellement un lien entre l'épaisseur du pergélisol, la présence ou l'absence de glace dans le sol et l'histoire glaciaire d'une région. Les phénomènes glaciaires déterminent également, pour un large part, la nature et la distribution des dépôts superficiels qui, à leur tour, influent sur la vulnérabilité des sols, de la végétation et du terrain. C'est, semble-t-il, le cas du nord du Yukon (p. ex. Zoltai et Pettapiece, 1973; Strang, 1973; Wiken et al., 1981a, 1981b).

Selon Hughes (1969), la limite occidentale du glacier Laurentide (Wisconsin) se situe à l'est du plateau de la plaine d'Eagle, là où les chaînons Richardson forment une imposante barrière topographique (voir figure 6). De la même façon, au sud et à l'ouest, bien que les monts Ogilvie et Wernecke aient alimenté de petits glaciers alpins, ceux-ci ne se sont jamais étendus très loin au nord et ont été confinés aux abords moyens et supérieurs de vallées plus importantes comme la vallée Blackstone. Par conséquent, la plaine d'Eagle a connu une période prolongée et ininterrompue de conditions périglaciaires très intenses. Ce phénomène est à l'origine du placage de

pierrailles étendu (felsenmeer) et fissuré par le gel qui recouvre les interfluves et les surfaces supérieures. En de nombreux endroits, ce régolithe angulaire a été remanié par le triage dû au gel (figure 8). Les pentes inférieures de la vallée sont couvertes de matières colluviales limoneuses et ce n'est que dans les dépressions que l'on trouve des sédiments organiques tourbeux. On observe, le long des principales vallées de rivières, des dépôts fluviaux atteignant jusqu'à 30 m d'épaisseur, ainsi que des silts glacio-lacustres riches en glace. (Hughes, 1969; Johnston, 1980). Il semble donc que, pendant le Quaternaire supérieur, les eaux de fonte se soient écoulées par la plaine d'Eagle à partir des divers fronts glaciaires situés à l'est. A certains endroits, l'eau a été retenue et a formé des lacs proglaciaires dont l'existence a été relativement courte.

A cause de l'absence générale de dépôts superficiels sur de vastes superficies de la plaine d'Eagle, ce n'est qu'au bas des pentes et au fond des vallées que l'on trouve des sédiments non consolidés à grains fins et à teneur élevée en glace. La présence d'une forêt pratiquement continue, le nombre restreint de photos aériennes que nous possédons de la région et l'absence apparente de certaines propriétés de terrains que l'on croyait caractéristiques des terrains très vulnérables dans d'autres parties du nord du Canada, (p. ex. les pingos, les polygones de fente de glace à centre concave, les palsas), rendent difficile l'établissement d'une carte de la vulnérabilité du terrain. On trouve toutefois, à l'intérieur de la plaine d'Eagle, un certain nombre d'indices de glace dans le sol d'importance ponctuelle. Parmi ces indices, mentionnons (a) les zones de fissures de retrait thermique, qui forment des réseaux de polygones immatures dans le fond des vallées où se trouvent des sédiments alluviaux ou colluviaux à grains fins (figure 9); (b) les cours d'eau en chapelet dans certaines petites vallées (figure 10); et (c) les joints dilatés par la croissance de la glace dans la roche en place, couramment exposés sur le plancher des emprunts situés le long de l'autoroute Dempster (figure 11). Des phénomènes similaires, observés le long de l'escarpement du Niagara dans l'Iowa et l'Illinois, ont été interprétés comme typiques du pergélisol datant du Pleistocène (Hedges, 1972).

Figure 8. Cercles sans triage et réseaux de pierres formés dans les débris de la roche en place angulaire près du chalet Eagle Plain, plaine d'Eagle. Lat. 66°22'N, Long. 136°38'O.

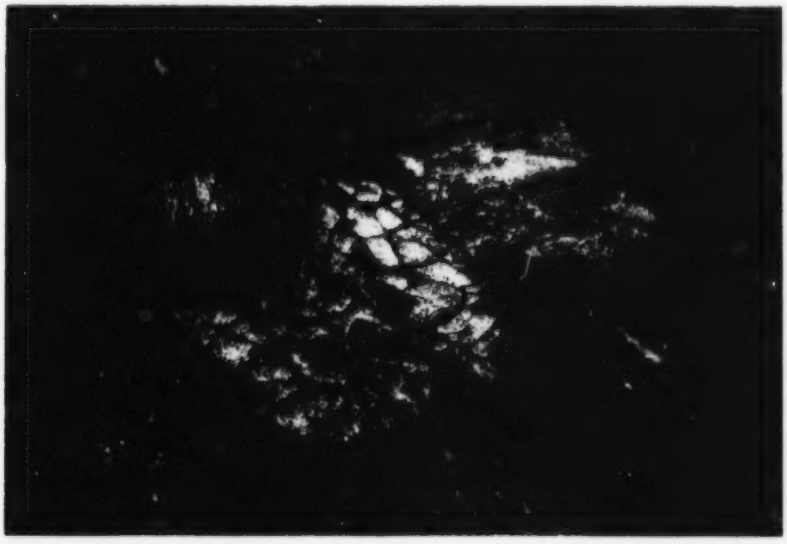


Figure 9. Des fissures de retrait thermique et des polygones de tourbe apparaissent dans les dépôts de la plaine inondable de la rivière Peel. Remarquer également la zone de tourbière nervurée. Lat. 65°51'N, Long. 136°50'O.

Contrairement à la plaine d'Eagle, le plateau de Peel se trouve dans les limites de la nappe glaciaire du Wisconsin (Laurentide). On y trouve de la moraine et autres sédiments à grains fins en abondance. Zoltai et Pettapiece (1973, 18) y ont relevé la présence de moraine glaciaire contenant généralement plus de 40% d'argile. La forte teneur en glace de la région provient également des nobmreux tertres de terre, des vastes étendues d'épinettes noires (Picea mariana) inclinées et rabougries, ainsi que des coulées de boues et des mouvements de masse occasionnels que l'on y observe. Zoltai et Pettapiece (1973, 25) font état de la présence de glace massive le long des pentes orientales des chaînons Richardson, ce que n'a pu observer l'auteur du présent rapport. Toujours selon Zoltai et Pettapiece, la grande majorité de la glace massive exposée se trouve dans les dépôts lacustres. Ces dépôts ont été formés par la retenue temporaire des eaux de fonte entre les chaînons Richardson et les calottes glaciaires continentales. Les terrains organiques du type plateaux de tourbe, palsas, polygones de tourbe et marais mouillés, que l'on trouve également en grand nombre dans la région, compliquent la distribution du pergélisol. Enfin le plateau est en partie articulé, ce qui favorise l'instabilité des pentes. Comparativement à la plaine d'Eagle non glacée, où les terrains très vulnérables se limitent principalement aux vallées à sédiments alluviaux et lacustres, le plateau de Peel possède un terrain dont la vulnérabilité est généralement élevée.

Figure 10. Vue aérienne oblique du petit cours d'eau tributaire du ruisseau Chance qui draine une partie du sud de la plaine d'Eagle. Remarquer les cours d'eau en chapelet. Lat. 66°15'N, Long. 137°25'O.

Figure 11. Joints dilatés par le gel dans la roche en place de schiste argileux, exposés dans un emprunt au kilomètre 366 de l'autoroute Dempster, plaine d'Eagle.

4. PERTURBATIONS DU TERRAIN

Des observations sur le terrain ont été effectuées en juillet 1979 à partir d'un hélicoptère 206 loué à Aquitaine du Canada Limitée. Le chalet Eagle Plain (kilomètre 371 de l'autoroute Dempster) servait de base à l'équipe. L'emplacement des puits visités est donné à la figure 12.

Commençons d'abord par l'analyse détaillée du puits Aquitaine Alder C-22. Comme des recherches avaient déjà été effectuées à ce puits en juin 1977, soit avant le début des opérations de forage (EBA Engineering Consultants Ltd., 1977; French, 1977), nous possédions une base de données relativement importante.

4.1. Aquitaine Alder C-33 (65°52'N; 136°54'O: NTS 116H

Ce puits est situé sur un interfluve en pente douce (2 - 5°) relativement bien drainé faisant face au sud, situé à quelques kilomètres au sud du principal escarpement de la plaine d'Eagle (figure 13). Foré au cours de l'hiver de 1977-1978, ce puits représente l'une des exploitations les plus récentes de la plaine d'Eagle. Le site a été restauré l'hiver suivant et le nettoyage final s'est fait au début de juillet 1979 (figure 14).

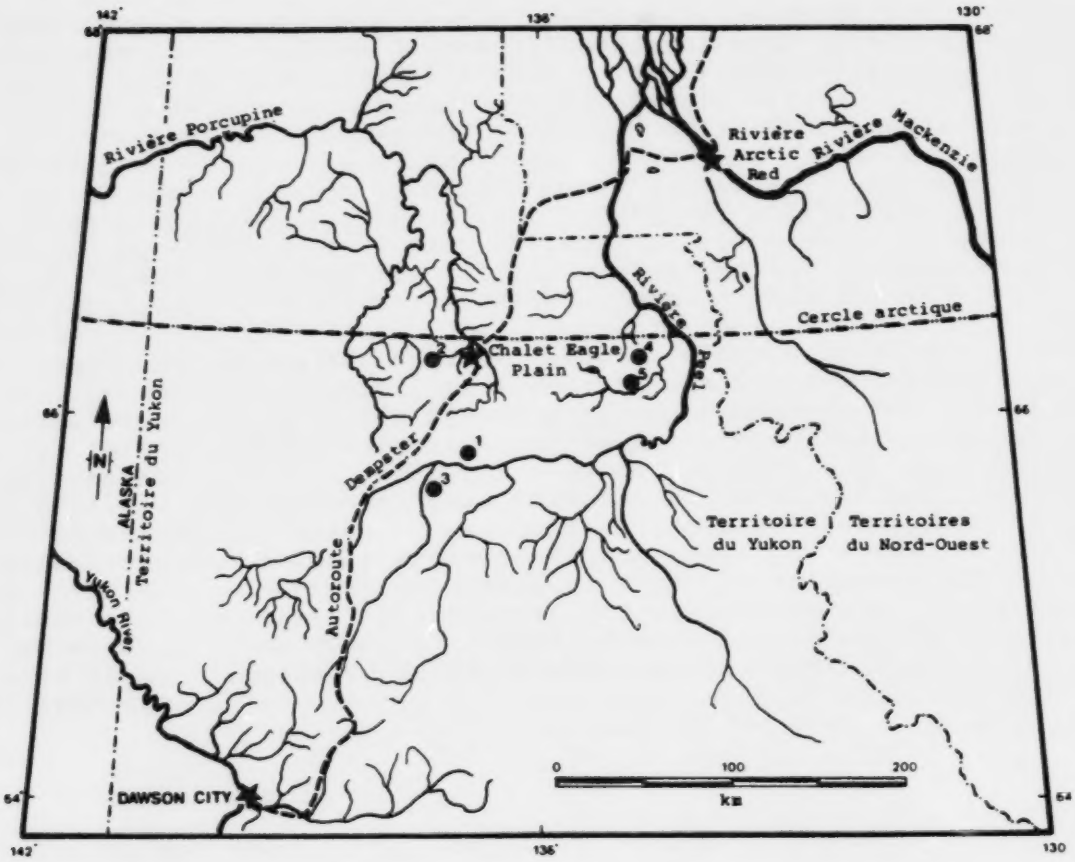
Un support en gravier, composé de grès broyé provenant de l'escarpement de la plaine d'Eagle, a été construit au cours de l'hiver 1976-1977. La carrière d'emprunt a par la suite été utilisée à titre de puisard pour les déchets de forage. L'exploitation en question était donc atypique étant donné que le puisard de la plate-forme principale ne se trouvait pas sur le site lui-même.

4.1.1. Conditions du site

D'une certain façon, le puits Alder peut être considéré comme raisonnablement représentatif des conditions de la plaine d'Eagle. La végétation de la région consiste en une couverture ouverte d'épinettes noires (Picea mariana) de bouleaux glanduleux (Betula glandulosa), d'aulnes (espèce Alnus) et, dans une moindre mesure, de Thé du Labrador. La surface est recouverte d'une couche de mousse-lichen qui constitue un tapis organique de plus de 10 cm d'épaisseur. A l'emplacement du puits, la présence d'épinettes blanches (Picea glauca) et de

restants calcinés d'épinettes noires témoigne d'un incendie antérieur, dont l'ampleur peut être déterminée facilement tant sur le terrain qu'à partir de photographies aériennes. Dans le secteur non brûlé, les épinettes noires atteignent en moyenne 5 à 6 m de hauteur, tandis que dans le secteur brûlé, les épinettes blanches atteignent rarement plus de 3 à 4 m. D'après le compte de leurs anneaux, les arbres situés à l'extérieur du secteur brûlé ont entre 130 et 150 ans, tandis que ceux qui se trouvent à l'intérieur n'ont que de 40 à 70 ans. Ces donnnées concordent avec ce que nous savons du rôle des incendies dans l'écosystème forestier boréal (p. ex. Rowe et al., 1975; Wein et al., 1975; Zoltai et Pettapiece, 1973, 15-17). Toutes traces de sols géométriques et de solifluxion sont absentes du site, bien que l'on puisse observer partout de gros hummocks d'environ 1 m de diamètre et atteignant jusqu'à 15 - 30 cm d'épaisseur, semblables à ceux décrits par Zoltai et Pettapiece (1973, 18-20). L'aspect "anarchique" de la forêt boréale, typique des sols gélifs riches en glace de la vallée du Mackenzie (p. ex. Zoltai, 1975), est notamment absent de la plaine d'Eagle.

Au début du mois de juin 1977, des levés géotechniques et de terrain ont été entrepris à l'emplacement proposé pour le puits. La profondeur de la nappe gélive et les températures de la couche active ont été mesurées en plusieurs endroits (tableau 1). Comme on pouvait s'y attendre, la profondeur de dégel était en étroite relation avec la couverture végétale et le type de végétation. En général, la nappe gélive mesure de 12 à 13 cm d'épaisseur sous la mousse, 15 cm d'épaisseur sous le Thé du Labrador, et de 18 à 20 cm d'épaisseur sous le lichen. Par contre, le long d'un profil sismique où le couvert forestier avait été enlevé, elle atteignait de 18 à 24 cm de profondeur. Ces observations confirment l'importance du rôle thermique de la végétation dans ces milieux de toundra nordique boréale de forêt et de buisson.



1. Aquitaine Alder C-33
2. Chevron SOBC WM N.Parkin D-61
3. SOBC Blackstone D-77
4. Mobil Gulf Peel H-71
5. Gulf Mobil Caribou N-25

Figure 12. Emplacement des puits dont il est question dans ce rapport

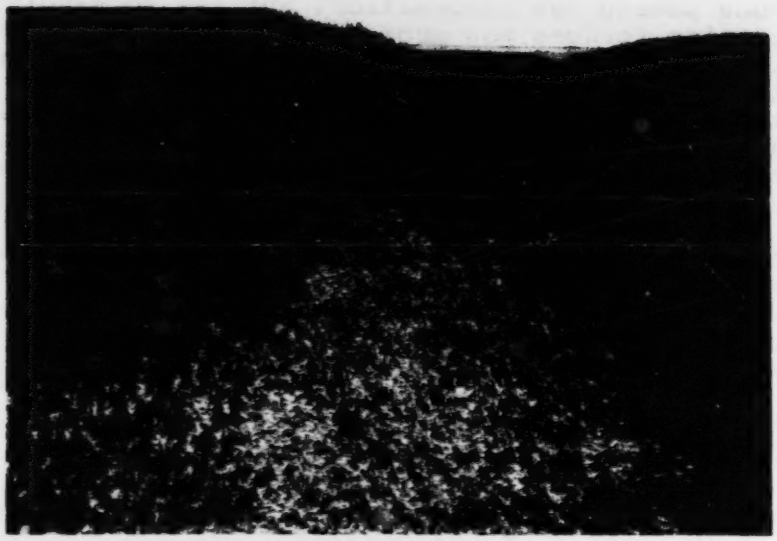


Figure 13. Vue aérienne oblique du puits Aquitaine Alder C-33 avant le forage de juin 1977. L'étendue de la zone brûlée est clairement visible. Lat. 65°52'N, Long. 136°54'O.

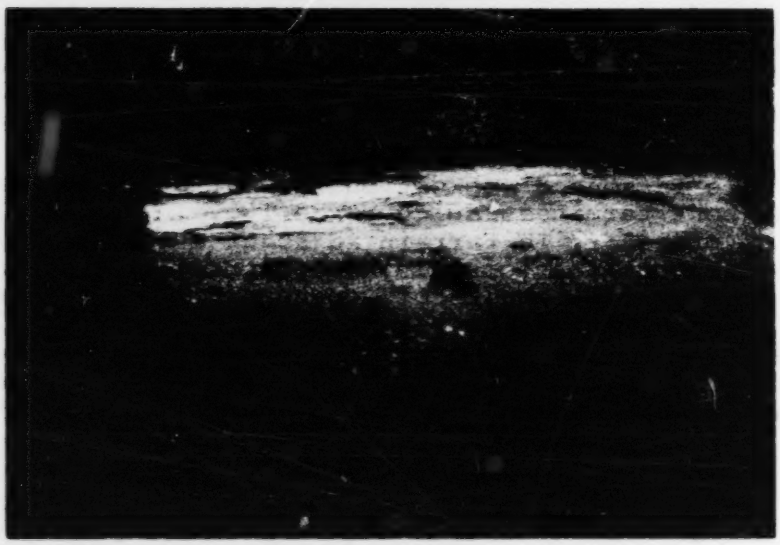


Figure 14. Vue aérienne oblique du puits Aquitaine Alder C-33 suite à l'abandon et à la restauration du site en juillet 1979. L'assise consistait en roche en place broyée, (grès) prélevée dans la région.

Nous avons obtenu des informations sur les sous-sols en examinant certains forages peu profonds effectués par Mobile Augers Limited d'Edmonton. Une plate-forme de forage légère, transportable par hélicoptère, a été utilisée à cette fin. Plusieurs carottes prélevées dans le site proposé ont révélé la présence d'une couche de 10 à 24 cm de matières organiques recouvrant environ 2 à 4 m de matières colluviales limoneuses d'un gris rougeâtre (figure 15), se transformant graduellement en roche en place de schiste argileux fossile et fortement altérée. Nous avons observé que les quantités de glace dans le sol décroissaient en fonction de la profondeur (tableau 2). Les deux premiers mètres de pergélisol affichent des teneurs typiques en glace excédentaire de 10 à 25 % et des teneurs naturelles en eau (glace) de 18 à 30 %. Compte tenu de valeurs limites typiques en liquide d'environ 25 à 40 % dans les matières colluviales limoneuses, on peut en déduire que la teneur en eau (c'est-à-dire en glace) de ces sédiments superficiels dépassera fort probablement la limite de liquidité, s'ils viennent à dégeler. Il ne faudrait toutefois pas exagérer l'importance de cette instabilité éventuelle, car les carottes de sondage plus profondes, provenant de la roche en place de schiste argileux et de grès sous-jacente, affichent de faibles teneurs en glace et révèlent une forte cohésion structurale de la roche.

4.1.2. Perturbations du terrain

Le forage du puits s'est effectué à partir d'un grand support de gravier. Les agrégats ont été obtenus en broyant le grès prélevé dans l'escarpement principal de la plaine d'Eagle, situé au nord (figure 3). Un petit puisard a été utilisé pendant le forage, mais la majorité des fluides en excès a été transportée dans la zone d'emprunt où ils ont été enfouis. Les opérations se sont terminées au cours de l'été. Du fait de cette façon de procéder, le terrain adjacent à la plate-forme n'a subi que des perturbations minimes (Figure 14). En outre, aucun signe de dégel du pergélisol, comme pourrait en témoigner le glissement du support de la plate-forme, n'était visible en juillet 1979. Nous en avons conclu que les méthodes adoptées pour prévenir le dégel étaient suffisamment efficaces pour empêcher toute augmentation du dégel suite au déboisement et au décapage de la couche superficielle de végétation.

	SITE 1 Profil sismique	SITE 2 Forêt d'épinettes; zone brûlée	SITE 3 Forêt d'épinettes; zone brûlée
Profondeur			
Surface	15.0°C	13.0°C	15.0°C
10 cm	11.0°C	6.0°C	12.0°C
20 cm	2.0°C	-	-
Nappe gélive, cm.			
9.6.1977	24.0	13.0	20.0
Végétation	Sphaigne Lichen	Epinettes Sphaigne Lichen	Epinettes Thé du Labrador Lichen Viorne trilobée
Micro-relief:	Plat	Creux	Bosses
Couche organique, cm:	14.0	12.0	15.0

Tableau 1. Conditions de la couche active au puits Aquitaine Alder C-33, plaine d'Eagle, 9 juin 1977 (d'après French, 1977).

Echantillon	Profondeur (cm)	Matières	Type de glace*	Glace excédentaire* (%)	Teneur naturelle en eau (%)	Limite de liquidité (%)	Limite de plasticité (%)	Gamme de plasticité (%)
1	55-60	Dépôts colluviaux	Vs, Vx	15-20	30.5	35.7	30.5	5.2
2	100-115	Dépôts colluviaux	Vs, Vx	25	18.9	31.4	18.9	12.5
3	150-160	Dépôts colluviaux	Vs, Vx, Vc	10-15	18.8	23.8	18.8	5.0
4	280-300	Schiste argileux altéré	Vc, Vx	0-5	6.2	20.8	6.2	14.6

* Tel que défini par Pihlainen et Johnston, 1963

Tableau 2. Quantité de glace dans le sol et limites de consistance des matières superficielles au puits Aquitaine Alder C-33, plaine d'Eagle (d'après French, 1977).

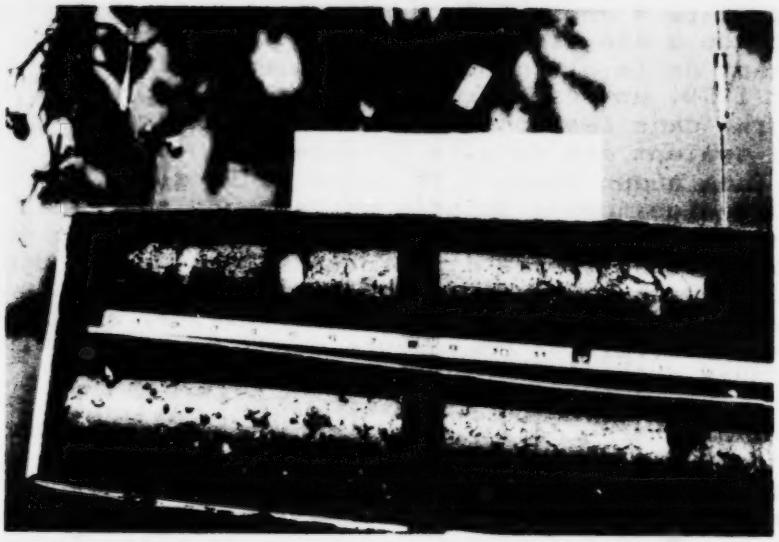


Figure 15. Carottes de forage des matières colluviales limoneuses provenant des 2 - 4 premiers mètres de régolithe du puits Aquitaine Alder C-33, plaine d'eagle, juin 1977. Remarquer les lentilles de glace.

Figure 16. Vue aérienne oblique de la zone d'emprunt du puits Aquitaine Alder C-33, plaine d'Eagle, suite à la restauration du site. Les secteurs dont le sol et la végétation ont été décapés présentent des zones de fonte le long des structures de joints dans la roche en place sous-jacente. Les carrières d'emprunt remblayées se trouvent à gauche sur la photo et sont sur un plan allongé. Photo prise en juillet 1979.

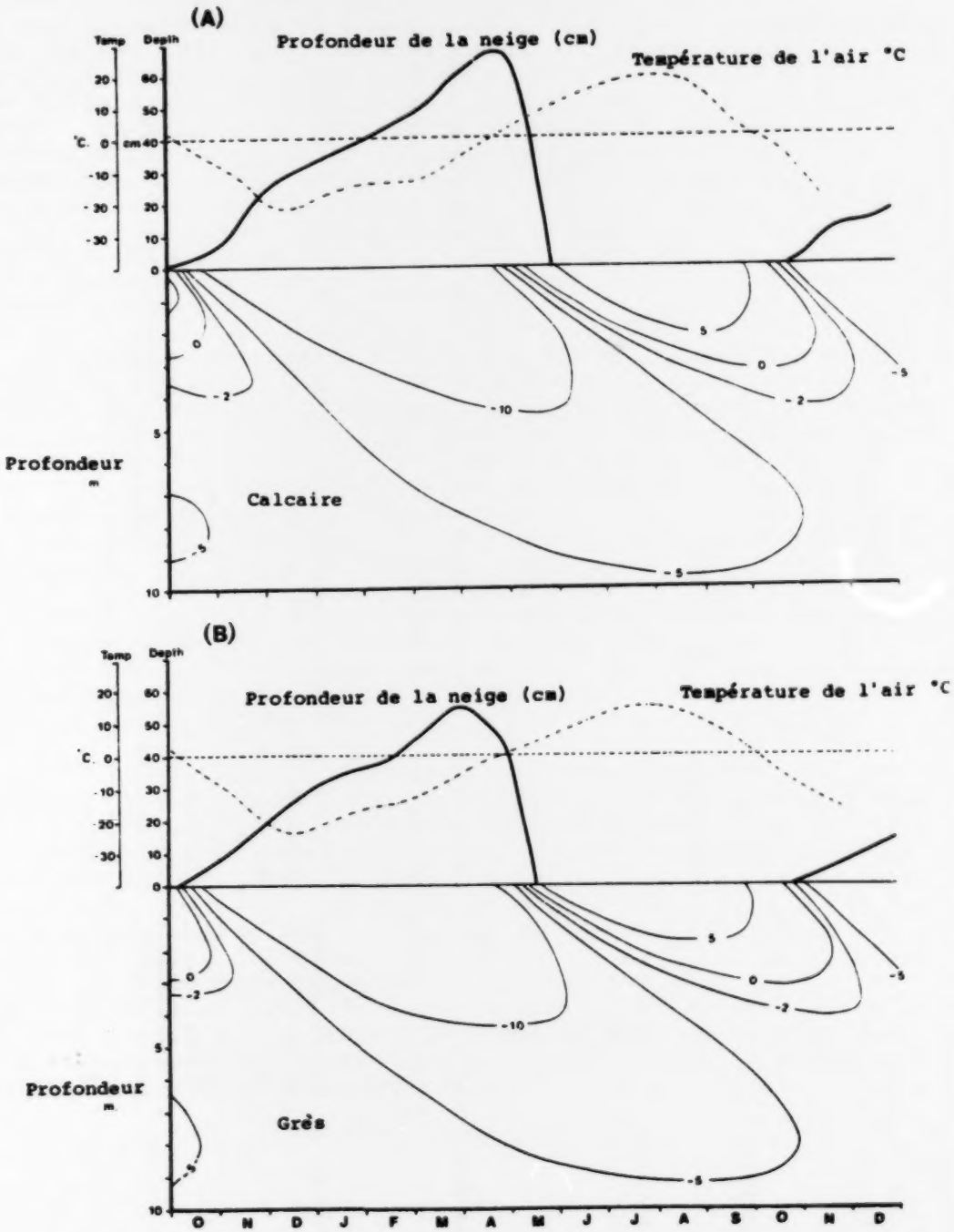
La carrière d'emprunt d'où provenait l'agrégat broyé de roche en place a été creusée le long de la crête de l'escarpement de la plaine d'Eagle. Lors de l'examen effectué en juillet 1979, un réseau rectangulaire de dépression linéaire s'était formé dans les zones où seuls le sol et la végétation de surface avaient été enlevés (Figure 16). Ces dépressions sont dues sans aucun doute à la fonte de la glace qui se trouvait dans les joints dilatés de la roche en place sous-jacente. Il s'agit donc d'un phénomène semblable à celui observé dans les carrières d'emprunt de l'autoroute Dempster (Figure 11). Dans les endroits où la roche a été effectivement extraite et qui ont été par la suite remblayés, aucun indice de glissement du terrain de couverture ou de fuite des fluides de forage enfouis n'ont été observés.

Les températures de la couche active mesurées dans la carrière d'emprunt étaient considérablement plus élevées que celles mesurées dans le terrain adjacent non perturbé le long de la crête (Tableau 3). De la même façon, tel que prévu, les températures relevées dans le support de la plate-forme lui-même étaient considérablement supérieures à celles observées dans les zones adjacentes recouvertes de végétation. Ces observations témoignent de la bonne conductivité thermique de la roche en place et donnent une idée des profondeurs de dégel relativement élevées qui peuvent découler d'une exposition de la roche en place. Elles indiquent également que l'épaisseur de gravier recommandée pour le support de la plate-forme par les experts-conseils en ingénierie, soit une profondeur de 10 pi (3,04 m), (EBA Engineering Consultants Ltd.), était suffisante.

Pollard (1980) a effectué une simulation numérique des régimes thermiques de la roche en place dans la plaine d'Eagle à l'aide d'une version modifiée du modèle MICRO (Smith, 1977). La figure 17 présente les régimes thermiques prévus pour les surfaces horizontales de calcaire et de grès à 66°N, calculés à partir des données climatiques de Dawson City; cela donne une idée approximative des conditions du secteur méridional de la plaine d'Eagle. Le modèle a prédit la présence d'un pergélisol d'une profondeur de dégel saisonnier maximale de 3,3 m (calcaire) et de 3,0 m (grès). La légère différence entre les 2 levés lithologiques témoigne probablement des valeurs de porosité plus élevées allouées au calcaire dans la prédiction, puisque ces valeurs déterminent les termes de chaleur latente.

Site		A.	B.	C.	D.
Matériau		Grès	Grès	Agrégat de grès broyé	Matières colluviales limoneuses (2-4 m) recouvrant la roche en place de schiste argileux
Vegetation		Bouleaux, peupliers, épinettes blanches, mousse-lichen	Sol et végétation décapés	-	Epinette blanche, mousse-lichen
Profondeur (cm)	Surface	17.5°C	17.5°C	18.0°C	20.0°C
	10	6.0°C	18.0°C	17.5°C	7.5°C
	20	5.0°C	18.0°C	17.0°C	-
	30	-	19.0°C	-	-
	40	-	19.0°C	17.0°C	2.0°C
	50	3.0°C	-	-	-
Nappe gélive :		Aucune donnée	Aucune donnée	Aucune donnée	Aucune donnée

1. Tableau 3. Températures (°C) de la couche active mesurées au puits Aquitaine Alder C-33 le 27 juillet 1979. (A) Roche en place non perturbée, escarpement de la plaine d'Eagle. (B) Roche en place décapée, escarpement de la plaine d'Eagle. (C) Support de forage composé d'agrégat de roche en place broyée. (D) Terrain non perturbé aux abords du puits. Remarquer les similitudes de régimes thermiques entre (A) et (B), et entre (B) et (C).



1. Figure 17. Régime thermique prévu pour les surfaces horizontales de calcaire (A) et de grès (B) de la plaine d'Eagle. D'après Pollard, 1980, 27.

Sur l'île Devon dans l'extrême Arctique (latitude 75°N), Brown (1973) a observé des couches actives s'enfonçant jusqu'à 2,2 m dans la roche en place. Les prévisions établies pour la plaine d'Eagle semblent donc raisonnables et permettent d'expliquer les températures exceptionnellement élevées observées dans la roche en place suite à la perturbation du sol. L'absence de toute activité thermokarstique importante reflète, (a), les faibles teneurs en glace et, (b), la nature consolidée de la roche en place sous-jacente.

4.2. Chevron SOBC WM N. Parkin D-61 (66°20'N; 137°13'O); NTS 1161

Ce puits, foré au cours de l'hiver 1971-1972, était l'un des premiers à être foré en hiver sur la surface de moyenne montagne de la plaine d'Eagle après l'adoption du Règlement sur l'utilisation des terres territoriales. Plusieurs des conditions de terrain analysées dans l'étude du puits Aquitaine Alder C-33 s'appliquent également à ce site.

En général, nous n'avons observé qu'une perturbation minimale du terrain (figure 18); cela est sans doute attribuable à la durée du programme de forage hivernal, soit une seule saison, et à la faible vulnérabilité du terrain à cet endroit. Le site a fait l'objet d'un programme de régénération végétale et on y trouve peu de traces du passage des véhicules. La nature limitée de l'activité thermokarstique des surfaces de moyenne montagne de la plaine Eagle a pu être observée à la piste d'aviation pour les avions Hercules, située à proximité. Comme dans le cas de la carrière d'emprunt du puits Aquitaine Alder C-33, l'épaulement décapé n'était caractérisé que par un réseau rectangulaire de joints dilatés et dégelés.

Bref, cet emplacement constitue un bon exemple d'exploitation hivernale bien planifiée et bien exécutée dans un secteur relativement bien drainé, reposant sur de la roche en place consolidée, à faible teneur en glace. L'absence de support de plate-forme témoigne probablement de la difficulté de trouver les agrégats nécessaires en surface et de désir, exprimé par les organismes de réglementation de l'utilisation des terres, de ne pas faire d'emprunt dans la roche en place. A posteriori, nous pouvons en conclure qu'un tel support n'était de toute façon pas nécessaire.

4.3. SOBC Blackstone D-77 (65°40'N; 137°15'O): NTS 116H

Deux facteurs font du puits Blackstone D-77 un site particulièrement intéressant pour l'évaluation des perturbations de terrain attribuables au forage à l'intérieur du territoire du Yukon.

En premier lieu, contrairement à la majorité des puits forés dans la plaine d'Eagle, celui-ci est situé sur un terrain légèrement incliné, situé à proximité du fond d'une vallée tributaire de la rivière Blackstone de direction sud-nord. De mauvaises conditions de drainage, alliées à la présence de sédiments colluviaux limoneux riches en glace ont produit un boisé ouvert d'épinettes noires (Picea mariana) et de tamarack (espèce Carex). Dans ce milieu humide de l'intérieur du Yukon, le cycle des incendies est légèrement différent de celui des zones bien drainées. Selon Zoltai et Pettapiece (1973, 16), dans ces milieux humides, la laîche et les buttes de linaigrette survivent aux incendies et se développement du fait de l'absence de compétition et à cause de l'humidité prononcée associée à la présence d'un épaississement de la couche active. Ces conditions rendent difficile le repeuplement en épinettes noires et en tamarack. Par conséquent, les zones de toundra brûlée composées de buttes de gazon ou de bouleaux nains s'y développent facilement. On peut donc s'attendre à voir apparaître la même série de changements dans la végétation suite à toute perturbation de terrain attribuable au forage d'un puits dans ces régions.

En deuxième lieu, ce puits a été foré avant l'adoption du Règlement sur l'utilisation des terres territoriales. L'exploitation a duré deux saisons; commencée en mars 1962, elle s'est terminée en janvier 1963. Certains travaux ont certainement été effectués autour du site pendant l'été de 1962, mais leur nature est difficile à déterminer à partir des dossiers du puits. Il semble que le forage se soit fait à partir d'une plate-forme sur pilotis, dont les restants sont encore visibles sur l'emplacement (figure 19).

Compte tenu donc de ces méthodes d'exploitation, il n'est pas surprenant qu'un important thermokarst se soit développé dans la région entourant le puits. Des monticules de thermokarst de 1 à 3 m de hauteur et de profonds étangs d'eau stagnante, atteignant par endroit de 2 à 4 m de profondeur, entourent l'ancienne plate-forme de forage (figure 20). Les

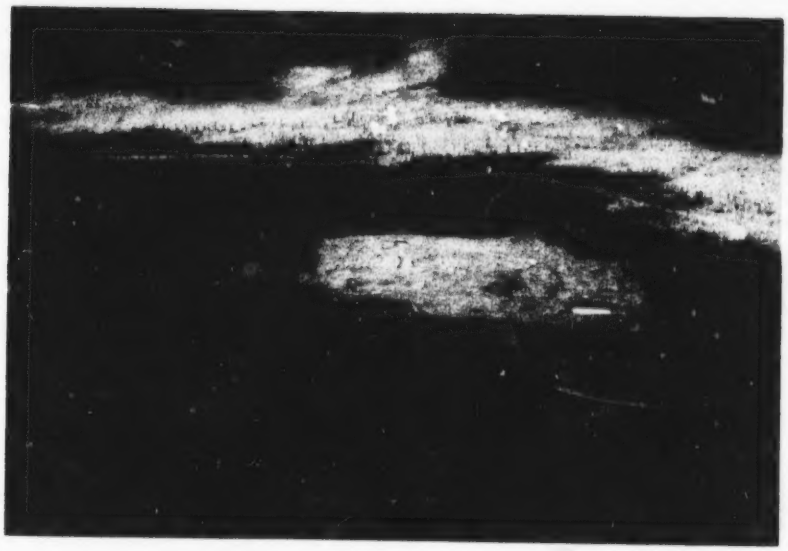


Figure 18. Vue aérienne oblique du puits Chevron SOBC WM N. Parkin D-61, situé sur la surface de moyenne montagne de la plaine d'Eagle. Photos prises en juillet 1979.

Figure 19. Les restants du support sur pilotis de la plate-forme de forage sont encore visibles au site du puits SOBC Blackstone D-77, foré en 1962-1963. Photo prise en juillet 1979.

profondeurs de dégel dans le terrain perturbé dépassent généralement 90 cm, tandis qu'elles sont inférieures à 45 cm dans le terrain adjacent non perturbé. Une régénération végétale s'est faite naturellement sur l'emplacement, sous forme de laîches, de mousses, de bouleaux mains et de linaigrettes, ce qui a favorisé la stabilistion du terrain. La présence de fétuque et de mil suggère également une régénération végétale artificielle effectuée à un certain moment donné par le passé.

Les profils sismiques ont été photographiés au cours de l'été. Ces profils révèlent, à proximité du puits, une histoire similaire de perturbations physiques et de thermokarst (figure 21). Le décapage des arbres et des matières organiques superficielles a entraîné la formation de tranchées remplies d'eau, de 80 à 100 cm de profondeur, colonisées par les plantes aquatiques (espèce Equisetum, espèce Carex, mousses). Les remparts qui se trouvent de chaque côté de la tranchée émoignent d'une restauration de la surface à l'aide de bulldozers.

En résumé, disons donc que le puits SOBC Blackstone D-77 est un secteur vulnérable. Il constitue un exemple des lacunes des méthodes d'exploitation industrielle utilisées avant l'adoption du Règlement sur l'utilisation des terres territoriales. La topographie thermokarstique qui est résultée de l'emploi de ces méthodes est semblable à celle décrite ailleurs à propos de zones de forêt boréale et de toundra forestière d'Amérique du Nord (p. ex. Péwé, 1954; Kerfoot, 1974) et d'Union soviétique (p. ex. French, 1975, 139-43).

4.4. Mobil Gulf Peel H-71 (66°20'N; 134°43'O): NTS 106L

Nous nous sommes intéressés à ce puits parce que, selon divers rapports, un second puisard y avait été construit pour recueillir les fluides excédentaires et qu'une perturbation du milieu avait été observée à l'emplacement de la piste d'aviation Hercules située à proximité. Les raisons qui ont conduit à la construction de ce second puisard ne sont pas connues et ne peuvent être que spéculées. Il se peut que les dimensions du premier puisard aient été insuffisantes ou que des problèmes de forage aient entraîné la production excessive de fluides résiduels. Le puits a été foré au cours de l'été 1977 et le site a été restauré au printemps 1978.

Figure 20. Des buttes de thermokarst et des étangs d'eau stagnante se sont formés dans les terrains perturbés voisins du puits Blackston D-77. Photo prise en juillet 1979.

Figure 21. Vue aérienne oblique d'un vieux profil sismique traversant le terrain riche en glace et mal drainé, dans la vallée de la rivière Blackstone. Cette photo a été prise en été. Remarquer le thermokarst qui s'y est formé. La végétation consiste en toundra de buissons et en buttes de gazon dues au feu. Lat. 65°45'N, Long. 137°15'O.

Les puits est situé sur la surface plane de moyenne montagne du plateau de Peel. La végétation de la région consiste en un boisé ouvert d'épinettes noires (Picea mariana) et d'épinettes blanches (Picea glauca) et en vastes zones de toundra de buissons. Aux endroits où les vallées coupent le plateau, des bouleaux blancs (Betula papyrifera) poussent sur les pentes bien drainées faisant face au sud; sur les pentes faisant face au nord poussent des épinettes noires. La région compte également des plateaux de tourbes, des secteurs de polygones de tourbe et des marais mouillés. La roche en place sous-jacente est rarement exposée, étant donné qu'un till limoneux et argileux couvre la surface. La présence de zones de sédiments lacustres riches en glace est signalée par des dépressions peu profondes contenant quantité de petits lacs de dégel. Quelques glissements actifs et inactifs constituent une preuve supplémentaire de la nature riche en glace des matières superficielles. Celles-ci sont particulièrement courantes dans les secteurs récemment brûlés (p. ex. Zoltai et Pettapiece, 1973, figure 15).

Le terrain situé aux alentours du puits n'est pas très perturbé (figure 22); cela tient, à n'en pas douter, à l'application stricte des méthodes d'utilisation des terres pendant la période critique de dégel estival. Les dommages éventuels que peuvent causer les véhicules sont illustrés par les profondes ornières que ceux-ci ont laissées sur le terrain pendant les dernières étapes de la restauration du site, probablement au début du printemps 1978. Le puisard auxiliaire se trouve sur un terrain d'altitude légèrement inférieure, adjacent au puisard principal et à proximité d'une conduite de drainage peu profonde. Les deux puisards présentent des signes de mauvais remblayage. En effet, la présence d'une zone d'épinettes mortes ou en train de mourir (figure 22), dont l'étendue concorde avec la petite dépression de drainage sur environ 150 m, indique que des fluides toxiques s'échappent de l'extrémité du puisard auxiliaire située en bas de la pente. La cause de cette fuite ne peut qu'être spéculée. Il se pourrait que le franc-bord de 4 pi (1,3 m), prescrit dans les clauses du permis, n'ait pas été respecté et qu'un suintement se soit produit par la suite le long du plafond du pergélisol. Comme ces fuites ne sont mentionnées en aucun endroit dans les rapports d'inspection de l'utilisation des terres, on pourrait également supposer qu'elles sont associées à la fonte de la glace contenue dans l'argile limoneuse utilisée dans la construction d'un petit barrage de retenue, à l'extrémité inférieure du puisard. En effet, ce phénomène semble être une

cause courante de suintement des fluides de puisard pendant l'été, surtout lorsque les barrages de retenue sont construits à l'aide de sédiments riches en glace à granulométrie fine (p. ex. Gulf Parsons Lake N-10, French, 1978; Gulf Caribou N-25, voir ci-dessous).

La piste d'aviation d'hiver a volontairement été aménagée dans un secteur de polygones de tourbe et de toundra de buissons (figure 23). Relativement peu d'arbres ont donc dû être coupés à cette fin. Après inspection sur le terrain, il est apparu que les dommages physiques se limitaient au décapage superficiel de petits plateaux de tourbe immatures (figure 5); aucun grave problème de terrain n'a été relevé.

4.5 Gulf Mobil Caribou N-25 (66°14'N; 134°50'O; NTS 106L

D'après le registre d'utilisation des terres, ce puits, foré au cours de l'été 1974, a connu de sérieux ennuis de terrains associés à la fuite des fluides de forage. Nous cherchions, au cours de la présente étude, à identifier les facteurs de terrain et les facteurs géomorphologiques locaux en cause, dans l'espoir qu'ils puissent nous aider à l'avenir à éviter l'apparition de problèmes semblables ailleurs.

L'état du site au moment de la visite effectuée en 1979 est illustré à la figure 24. Une superficie importante, au bas de la pente par rapport au puisard, a été remaniée par des rigoles, des coulées de boues et des glissements de terrain.

Les ennuis rencontrés à cet endroit sont attribuables en grande partie aux caractéristiques de l'emplacement même. En effet, le puits est situé sur un interfluve étroit séparant deux vallées tributaires profondément encaissées de la rivière Caribou. Dans cette partie du plateau de Peel, les flancs de la surface de moyenne montagne sont drainés par plusieurs petits cours d'eau. Ce phénomène a donné lieu à l'apparition d'importants secteurs ponctuels de terrains très articulés recouverts de sédiments glaciaires remaniés. Ceux-ci sont en général de granulométrie fine (teneur en argile 40 %) et affichent de fortes teneurs en glace. Selon le rapport de l'inspecteur d'utilisation des terres du MAIN, le puisard a été creusé presque entièrement dans de tels matériaux et des lentilles de glace étaient exposées sur ses parois. A cause de l'étroitesse de l'interfluve, le puisard a dû être creusé à

Figure 22. Vue aérienne du puits Mobil Gulf Peel H-71 sur laquelle apparaît le puisard auxiliaire et la zone adjacente d'arbres morts. Photo prise en juillet 1979.

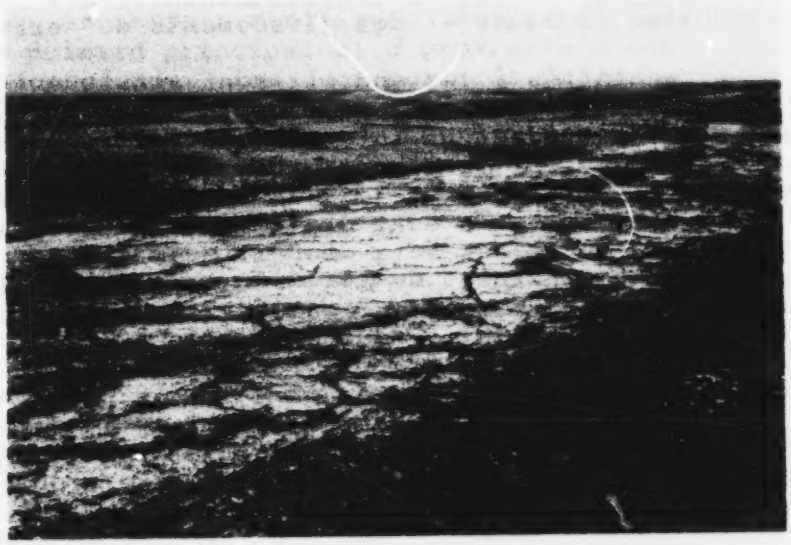


Figure 23. Vue aérienne oblique des polygones de tourbe et des marais mouillés, plateau de Peel. Cet emplacement a servi de piste d'aviation d'hiver pour le puits Mobil Gulf Peel H-71 au cours de l'hiver 1976-1977. Lat. 66°21'N, Long. 134°45'O. Photo prise en juillet 1979.

proximité du côté occidental de celui-ci. Il a donc fallu construire également un gros barrage de retenue. Les matériaux extraits du puisard ont servi à cette fin. Etant donné son exposition au sud-ouest et son manque d'isolation, il n'est pas étonnant que ce barrage ait dégelé à la fin de l'été et qu'un glissement entraînant la fuite des fluides se soit produit (figure 25). L'été suivant, après la restauration du site au cours de l'hiver, d'autres glissements et pertes de masse ont eu lieu au même endroit où les fuites s'étaient manifestées (figure 26). Il est clair que les fluides du puisard n'avaient pas gelé in situ dans le pergélisol et que le poids des morts-terrains du puisard a provoqué un suintement qui a déclenché un nouveau glissement, d'autant plus que l'instabilité du terrain était accentuée par le gel et l'expansion des fluides excédentaires, dont les températures de gel sont plus basses. En 1979, un programme de régénération végétale a cependant connu un certain succès (figure 27).

Nous pouvons donc, rétrospectivement, résumer les facteurs qui ont contribué à ces ennuis de terrains comme suit:

(i) L'emplacement même du puits a nécessité la construction du puisard sur une pente abrupte sujette à une perte de masse gravitaire.

(ii) Les matériaux riches en glace et de granulométrie fine extraits du puisard et utilisés pour la construction du barrage de retenue étaient sujets au dégel et à l'instabilité.

(iii) Comme le forage a été effectué entièrement en été, les fluides en excès n'ont pas gelé complètement avant la restauration du site au cours de l'hiver suivant.

(iv) Aucune mesure visant à prévenir le dégel des parois du puisard au cours de l'été n'a été prise.

La fuite des fluides en excès sur l'emplacement de ce puits a été étudiée sous l'angle de la toxicité et des problèmes biologiques par Smith et James (1981, rapport en cours de rédaction). Du point de vue géomorphologique, le succès relatif du programme de régénération végétale doit

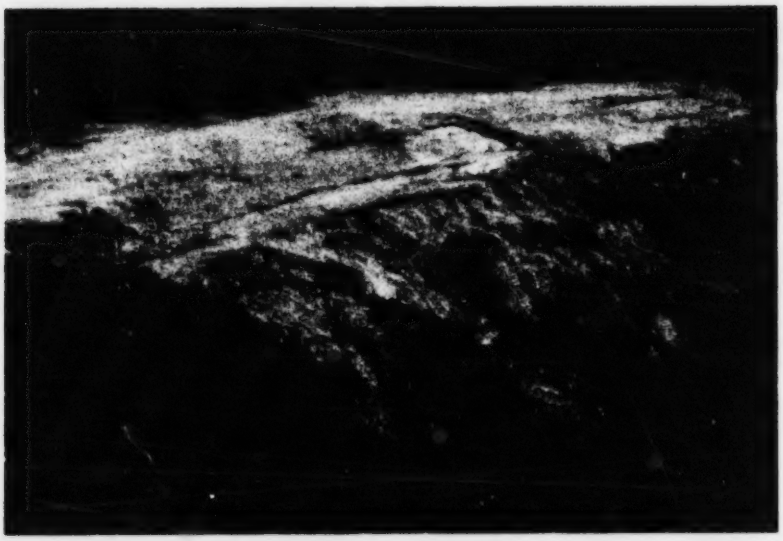


Figure 24. Vue aérienne oblique du puits Gulf Mobil Caribou N-25, plateau de Peel, illustrant l'amplitude du glissement du côté occidental du puisard. Photo prise en juillet 1979.

Figure 25. Vue du puits Gulf Mobil Caribou N-25 en septembre 1974, faisant apparaître les fuites de fluides à travers la paroi du puisard. Remarquer à quel point le puisard était situé à proximité du bord de la pente de la vallée. Photo: Courtoisie de W. Robson, Pêches et Environnement Canada, Whitehorse.

Figure 26. Puits Gulf Mobil Caribou N-25, en septembre 1975, après la restauration du site. Un glissement et une perte de masse se sont produits à l'emplacement de la fuite initiale des fluides du puisard. Photo: Courtoisie de W. Robson, Pêches et Environnement Canada, Whitehorse.

Figure 27. Vue du puits Gulf Mobil Caribou N-25, en juillet 1979, illustrant la stabilisation et la régénération végétale de la pente. On observe encore un suintement dans la zone perturbée. A comparer à la figure 26.

être souligné. Bien que le rétablissement de la couverture d'épinettes originale puisse prendre plusieurs centaines d'années (Zoltai et Pettapiece, 1973, 16), la stabilisation du terrain qui a été obtenue contraste avec les résultats obtenus dans les milieux de désert polaire et de toundra, où des cas semblables d'instabilité provoqueraient probablement des glissements spontanés de la glace dans le sol et de nombreux glissements de dégel rétrogressifs. Malheureusement, aucune étude à long terme sur la perte de masse dans les régions intérieures du nord du Yukon, qui nous permettrait de quantifier ces différences, n'a été faite.

5. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Les emplacements décrits dans le présent rapport ont été choisis soit à cause des problèmes de terrain ou de puisards qui y sont notamment survenus ou à cause de leur caractère représentatif des perturbations généralement rencontrées à proximité des puits dans les régions intérieures du nord du Territoire du Yukon. Le tableau 4 résume les données portant sur 5 puits. Les anciennes exploitations datant d'avant l'adoption du Règlement sur l'utilisation des terres sont représentées par le puits SOBC Blackstone D-77. Les autres exploitations étaient toutes soumises à des permis d'utilisation des terres. Les terrains de vulnérabilité forte et faible sont respectivement illustrés par le puits SOBC Blackstone D-77 et le puits Chevron SOBC WM N. Parkin D-61. Le puits Gulf Mobil Caribou N-25 est atypique et doit être interprété dans le contexte de conditions spécifiques ponctuelles.

Compte tenu de ces contraintes, la conclusion générale que l'on peut tirer de la présente étude est que les problèmes associés aux puisards à l'intérieur du Territoire du Yukon ne sont pas aussi évidents ou aussi courants que dans certaines régions des Territoires du Nord-Ouest, notamment dans le delta du Mackenzie et dans les îles arctiques. Cela est particulièrement vrai pour la plaine d'Eagle et l'est de moindre façon pour le plateau de Peel.

Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte dans cette évaluation. En premier lieu, la vulnérabilité générale du terrain de la plus grande partie de l'intérieur du Yukon est plus faible que dans les régions comme celles du delta du Mackenzie. Cela est dû à l'absence de matériaux superficiels riches en glace non consolidée des secteurs non glacés (p. ex. la plaine d'Eagle); au lieu de cela, on trouve partout des surfaces de roches en place cohérentes bien drainées dont la teneur en glace est généralement faible. Les terrains les plus vulnérables du plateau de Peel doivent leur vulnérabilité à (a) la présence de sédiments lacustres et glaciaires riches en glace et de granulométrie fine et (b) la nature fortement articulée de certaines zones. En deuxième lieu, la régénération végétale et la stabilisation des zones perturbées de la forêt boréale et de la toundra de buissons à l'intérieur du Yukon se fait relativement rapidement par rapport aux autres

régions situées plus au nord. Les observations faites au puits Blackstone suggèrent qu'une recolonisation naturelle du type de celle qui a lieu après un incendie, obtient, à long terme (c'est-à-dire 15 - 25 ans), autant de succès qu'une plantation artificielle. Toutefois, le programme de régénération végétale Caribou illustre la possibilité d'appliquer, à court terme, un programme de régénération végétale artificielle. Si le but de la restauration du site est de remettre le plus possible le terrain dans son état original, plusieurs options doivent être retenues. Par exemple, si un support de gravier constitue la meilleure protection pour le terrain, il peut alors être préférable de "sacrifier" une petite superficie qui servira de carrière d'emprunt et de concentrer le programme de régénération végétale à ce seul endroit lorsque l'exploitation est terminée.

La minimisation des perturbations du terrain dans le Territoire du Yukon obtenue grâce au Règlement sur l'utilisation des terres territoriales doit également être soulignée. Les données sur le vieux puits Blackstone illustrent comment, dans une région très vulnérable, un thermokarst semblable à celui que l'on trouve dans d'autres milieux nordiques vulnérables peut se former. Il faut également reconnaître que l'industrie, ces dernières années, se préoccupe davantage de la planification du site et des éventuels problèmes de terrain. Le puits Aquitaine Alder C-33, où le forage s'est fait à partir d'un large support de gravier suite à une étude détaillée du sol, du pergélisol et des caractéristiques géotechniques, effectuée avant la mise en oeuvre, constitue un bon exemple de méthode moderne et efficace d'utilisation des terres.

Sauf au puits Mobil Gulf Peel H-71, la fuite des fluides de forage ne semble pas avoir causé d'effets toxiques évidents, bien qu'il faille attendre les résultats des analyses biologiques pour en être certain. En attendant, les observations sur le terrain dont il est fait état dans le présent rapport suggèrent que les perturbations physiques sont plus importantes. Cela ne veut pas dire que la perte des arbres et autres biomasses soit insignifiante. L'importance de tels changements dépend clairement des effets d'échelle et des effets cumulatifs, en plus des valeurs relatives allouées aux divers éléments de la composition végétale selon les points de vue de l'exploitation des ressources, de l'habitat et de l'écologie. Dans les emplacements vulnérables en été, où de graves perturbations de terrain pourraient se produire (p. ex. le puits SOBC Blackstone D-77 et Gulf Mobil Caribou N-25), deux solutions doivent être envisagées, soit l'épandage en surface des fluides ou leur transport par camions dans des décharges officielles.

Puits	Terrains	Matériaux de surface ou roche en place	Début et fin de l'exploitation*	Profondeurs finales (m)	Nature des opérations de forage	Perturbations de terrains ou ennuis associés aux puisards ou commentaire généraux
Aquitaine Alder C-33	Terrains en pente, Plaine d'Eagle	3 m de matières colluviales riches en glace reposant sur la roche en place	08-03-78 04-03-79	3714	Exploitation d'une saison, en hiver	Aucun problème de terrain. Aucun puisard sur le site; utilisation d'une carrière d'emprunt pour la retenue des fluides en excès. Support de plate-forme constitué de grès broyé. Etude effectuée avant l'exploitation.
Chevron SOBC WM N. Parkin D-61	Surface de moyenne montagne, plaine d'Eagle	Roche en place de grès	04-01-72 17-04-72	3352	Exploitation d'une seule saison, en hiver	Aucun problème. Aucun support de plate-forme
SOBC Black-stone D-77	Fond de vallée, mal drainé	Matières colluviales riches en glace	10-03-62 08-01-63	4028	Exploitation estivale de deux saisons	Perturbations du terrain et thermokarst. Exploitation effectuée avant l'adoption du Règlement sur l'utilisation des terres territoriales.
Mobil Gulf Peel H-71	Surface de moyenne montagne, plateau de Peel	Till	05-02-77 12-06-77	3392	Exploitation estivale de deux saisons	Construction d'un puisard auxiliaire. Fuite de fluide et effets toxiques.
Gulf Mobil Caribou N-25	Interfluve étroit, plateau de Peel	Till	01-05-74 10-08-74	3600	Exploitation estivale d'une seule saison	Fuite de fluides occassionée par la fonte d'une paroi du puisard située à proximité d'un cours d'eau. Erosion et affaissement du puisard au cours des années subséquentes.

*Source: Schedule of Wells, 1920-1979, Northwest Territories and Yukon Territory, Direction des ressources non renouvelables du Nord, Division de l'évaluation des ressources en pétrole et en gaz, Section des opérations d'exploration, Ministère des Affaires indiennes et du Nord, Ottawa, nº R72-21/1979 au catalogue.

Tableau 4. Données sommaires sur les puits décrits dans le présent rapport

Le tableau 4 illustre également l'importance du calendrier des opérations de forage. Les puits forés en été, ou dont l'exploitation s'est poursuivie pendant l'été, semblent plus enclins à provoquer des perturbations de terrain ou des problèmes de retenue des fluides de forage, tandis que l'exploitation hivernale d'une seule saison ne pose apparemment que peu de problèmes. De plus, les techniques relativement perfectionnées utilisées au puits Aquitaine Alder C-33, où un programme innovateur d'élimination des déchets a été mis sur pied, peuvent être comparées aux techniques employées, par exemple, à l'ancien puits Chevron SOBC WN N. Parkin D-61, où la simple application du Règlement sur l'utilisation des terres sur un emplacement peu vulnérable exploité en hiver a permis d'assurer un impact aussi minime. Comme tels, ces deux puits peuvent servir d'illustration non seulement à l'évolution progressive de l'application et de l'efficacité du Règlement sur l'utilisation des terres territoriales dans la Plaine d'Eagle, mais également aux variations dans les conditions selon les emplacements et aux méthodes d'exploitation connexes exigées du détenteur de permis.

6. RECOMMANDATIONS

1. Dans les régions comme la plaine d'Eagle, la roche en place broyée devrait servir d'agrégats pour le support de la plate-forme et la carrière d'emprunt ainsi nécessitée devrait être utilisée pour recueillir les fluides de forage en excès. Cette méthode d'exploitation peut être appliquée dans des exploitations d'été et dans celles d'hiver.

2. L'utilisation de puisards en sous-sol pour le captage des fluides en excès semble satisfaisante dans de nombreux puits forés en hiver dans le nord du Territoire du Yukon. D'autre part, il faut aussi prendre en considération la possibilité d'épandre les fluides en surface lorsque ceux-ci sont non toxiques, notamment si le puits doit être foré en été.

3. Dans les zones englacées comme celles du plateau de Peel, où le till argileux et les sédiment lacustres riches en glace sont courants, tous les efforts doivent être faits pour que les opérations de forage soient effectuées pendant les mois d'hiver. Là aussi, lorsque les fluides en excès ne sont pas toxiques, on peut envisager de les épandre à la surface.

4. Lorsque, compte tenu de la situation topographique du puisard, la possibilité d'une fuite de fluide est élevée malgré l'utilisation de barrages de retenue, le forage doit être effectué en une seule saison, en hiver, de façon à que les fluides en excès puissent geler.

5. L'interprétation de photographies aériennes et les études de terrains antérieures à l'octroi du permis d'utilisation des terres peuvent aider à prévenir ou à minimiser les problèmes attribuables aux perturbations de terrain. Ces études devraient être faites en été, au moment où la neige ne nuit pas à l'évaluation des conditions du sol et de la végétation. Les levés géotechniques pouvant nécessiter l'emploi de matériel lourd (p. ex. forage superficiel) devraient être effectués en hiver dans les endroits où, en été, les déplacements sont difficiles ou risquent de causer des dommages.

7. BIBLIOGRAPHIE

Bliss, L.C. et E.B. Peterson, 1973. The ecological impact of northern petroleum development, in: Arctic oil and gas: problems and possibilities; Actes du 5e congrès international, Fondation Française d'Etudes Nordiques, 2-9 mai, 1973, Le Havre, 1-26.

Bostock, H.S., 1966. Notes on glaciation in central Yukon Territory. Geological Survey of Canada, Paper 65-36, 18 p.

_____, 1970. Physiographic subdivisions of Canada. in: Geology and Economic Minerals of Canada, R.J.W. Douglas (ed.), Geological Survey of Canada, Economic Geology Report No 1, 10-30, Map 1254A.

Brown, R.J.E., 1970. Permafrost in Canada; its influence on northern development, University of Toronto Press, 234 p.

_____, 1973. Influence of climatic and terrain factors on ground temperatures at three localities in the permafrost region of Canada, in Permafrost - North American Contribution, Second International Permafrost Conference, Yakutsk, U.S.S.R. National Academy of Sciences Publication 2115, Washington, D.C., 27-34.

_____, 1978. Permafrost. Plate 32, Hydrological Atlas of Canada, Fisheries and Environment Canada, Ottawa.

Burns, B.M., 1973. The climate of the Mackenzie Delta-Beaufort Sea, Volumes 1 and 2, Climatological Studies No 24, Atmospheric Environment Service, Toronto, 227 p and 239 p.

EBA Engineering Consultants Ltd., 1977. Geotechnical investigations for utilities design, Dawson City, Yukon, Consultants' Report, Stanley Associates Engineering Ltd., 28 p.

French, H.M., 1975. Man-induced thermokarst, Sachs Harbour airstrip, Banks Island, N.W.T. Canadian Journal of Earth Sciences, 12, 132-44.

_____, 1977. Permafrost and terrain report: Aquitaine Alder wellsite, Eagle Plain, Yukon Territory (65°52'N; 136°52'W). Consultants' Report, Aquitaine of Canada Ltd., Calgary, 12 p.

_____, 1978a. Sump Studies I: Terrain disturbances. Environmental Studies No 6, Indian and Northern Affairs, Ottawa, 52 p.

French, H.M., 1978b. Terrain and environmental problems of Canadian Arctic oil and gas exploration, Musk-Ox, 21, 11-17.

_____, 1978c. Why Arctic oil is harder to get than Alaska's. Canadian Geographical Journal, 94, 46-51.

_____, 1980. Terrain, land use and waste drilling fluid disposal problems, Arctic Canada. Arctic, 33, 794-806.

French, H.M. et M.W. Smith, 1980a. Sump Studies II: Geothermal disturbances adjacent to wells drilled in permafrost. Environmental Studies No. 14, Indian and Northern Affairs, Ottawa 61 p.

Hedges, J., 1972. Expanded joints and other periglacial phenomena along the Niagara escarpment, Biuletyn Peryglacjalny, 21, 87-126.

Hughes, O.L., 1969. Surficial geology of Northern Yukon Territory and Northwestern District of Mackenzie, Northwest Territories, Geological Survey of Canada, Paper 69-36 and Map 1319A.

Hughes, O.L. et R.O. Van Everdingen, 1978. Field Trip No. 1 Central Yukon - Alaska, Third International Conference on Permafrost, Edmonton, 32 p.

Hughes, O.L., Campbell, R.B., Muller, J.E., et J.O. Wheeler, 1969. Glacial limits and flow patterns, Yukon Territory, south of 65 degrees north latitude, Geological Survey of Canada, Paper 68-34.

Johnson, L.A., 1981. Revegetation and selected terrain disturbances along the trans-Alaska pipeline, 1975-1978. CREEL Report 81-12, 115 p.

Johnston, G.H., 1980. Polyurethane insulated road study, mile 237.2, Dempster Highway, Yukon Territory, Division of Building Research, National Research Council of Canada, Unpublished manuscript.

Kerfoot, D.E., 1974. Thermokarst features produced by man-made disturbances to the tundra terrain, in: Research in Polar and Alpine Geomorphology, Proceedings, Third Guelph Symposium on Geomorphology, 1973 (B.D. Fahey and R.D. Thompson, eds.), GeoAbstacts Ltd., 60-72.

Lawson, D.E. et Brown J. 1979. Human-induced thermokarst at old drill sites in northern Alaska, Northern Engineer, 10, 16-23.

Lawson, D.E., Brown, J., Everett, K.R., Johnson, A.W., Komarkova, V., Murray, B.M., Murray, D.F., et Webber P.J., 1978, Tundra disturbance and recovery following the 1949 exploratory drilling, Fish Creek, Northern Alaska, CREEL Report 78-28, 81 p.

Norris, D.K., Price, R.A., et Mountjoy E.W., 1963. Geology, northern Yukon Territory and northwestern District of Mackenzie, Geological Survey of Canada, Map 10-1963.

Oswals, E.T. et J.P. Senyk, 1977. Ecoregions of the Yukon Territory, Canadian Forestry Service, Environment Canada Publication BC-X-164, 155 p. (Microfiche 77-2373).

Péwé, T.L., 1954. Effect of permafrost upon cultivated fields, United States Geological Survey Bulletin, 989, 315-51.

Pollard, W.H., 1980. A numerical simulation of bedrock thermal regimes in the discontinuous permafrost zone, Ph.D. Seminar (mimeographed), Department of Geography, University of Ottawa, 72 p.

Pufahl, D.E., Morgenstern, N.R., et W.D. Roggensack, 1974. Observations on recent highway cuts in permafrost, Environmental-Social Program, Northern Pipelines, Task Force on Northern Oil Development, Report 74-32, 53 p.

Rowe, J.S., Spittlehouse, D., Johnson, E., et M. Jaccemik, 1975. Fire studies in the upper Mackenzie Valley and adjacent Precambrian uplands, ALUR Report, Indian and Northern Affairs, Ottawa, 74-75-61, 128 p.

Smith, D.W. et T.D.W. James, 1980a. Biological changes in permafrost terrain adjacent to High Arctic oil and gas wellsites, Environmental Studies No 16, Indian Affairs and Northern Development, Ottawa, 150 p.

Smith, D.W. et T.D.W. James, 1980b. Biological changes adjacent to the exploratory Mackenzie Delta wellsite Ogruknang M-31, Contract Reports OSU77-040; OSU78-0001, ALUR Program, Indian and Northern Affairs, Ottawa, 40 p.

Smith, D.W. et T.D.W. James, 1981 (in preparation). Biologic changes adjacent to exploratory oil and gas wellsites, northern Yukon Territory.

Smith, M.W., 1977, Computer simulation of microclimatic and ground thermal regimes; test results and program description, ALUR Program Indian and Northern Affairs, Ottawa, 75-76-72, 74 p.

Strang, R.M., 1973. Studies of vegetation, landform and permafrost in the Mackenzie Valley; some case histories of disturbance, Environmental-Social Program Northern Pipelines, Task Force on Northern Oil Development, Report 73-14, 49 p plus maps.

Taylor, A.E. et A.S. Judge, 1974. Canadian Geothermal Data Collection - northern wells, 1955 to February 1974, Geothermal Series No I, Geothermal Service of Canada, Earth Physics Branch, Energy, Mines and Resources, Ottawa, 171 p.

Vernon, P., et O.L. Hughes, 1966. Surficial geology, Dawson, Larsen Creek and Nash Creek Map areas, Yukon Territory, Geological Survey of Canada, Bulletin 136, 25 p.

Wein, R.W., Sylvester, T.W., et M.G. Weber, 1975. Vegetation recovery in Arctic tundra and forest tundra after fire, ALUR Report, Indian and Northern Affairs, Ottawa, 74-75-62, 115 p.

Wiken, E.B., Welch, D.M., Ironside, G., et D.G. Taylor, 1979. Ecological Land Survey of the Northern Yukon, Ecological Land Classification Series, Lands Directorate, Environment Canada, No 7, 361-372.

_____, 1981a. Ecoregions of the Northern Yukon, Map Scale 1:1 000 000 with extended legend, Environmental Conservation Service, Environment Canada, Ottawa.

_____, 1981b. Ecodistricts of the Northern Yukon. Map Scale 1:500 000 with extended legend, Environmental Conservation Service, Environment Canada, Ottawa.

Zoltai, S.C., 1975. Tree ring record of soil movements on permafrost, Arctic and Alpine Research, 7, 331-40.

Zoltai, S.C. et W.W. Pettapiece, 1973. Terrain, vegetation and permafrost relationships in the northern part of the Mackenzie Valley and northern Yukon, Environmental-Social Program Northern Pipelines, Taks Force on Northern Oil Development, Report 73-4, 105 p.